

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 1月30日  
Date of Application:

出願番号 特願2003-022073  
Application Number:

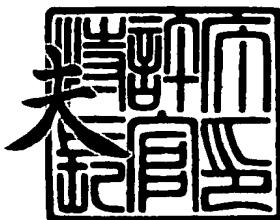
[ST. 10/C] : [JP 2003-022073]

出願人 ローム株式会社  
Applicant(s):

2003年12月 5日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康



【書類名】 特許願

【整理番号】 JP020575P

【提出日】 平成15年 1月30日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H05H 1/46

【発明者】

【住所又は居所】 京都市右京区西院溝崎町21 ローム株式会社内

【氏名】 篠原 壽邦

【特許出願人】

【識別番号】 000116024

【氏名又は名称】 ローム株式会社

【代理人】

【識別番号】 100094145

【弁理士】

【氏名又は名称】 小野 由己男

【連絡先】 06-6316-5533

【選任した代理人】

【識別番号】 100106367

【弁理士】

【氏名又は名称】 稲積 朋子

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 020905

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 プラズマ処理装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反応器内の試料にプラズマ処理を行うプラズマ処理装置であって、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、前記マイクロ波発生手段に接続され、前記試料の処理面に沿う断面が矩形状であり、前記マイクロ波発生手段から発生したマイクロ波の電界強度分布を前記試料の処理面に沿って概ね均一にする第1誘電体と、

前記反応器と前記第1誘電体との間に設けられ、複数の第1スロットが形成されており、前記第1誘電体内のマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持またはさらに高めるスロット板と、

前記スロット板と前記反応器との間に設けられ、前記スロット板から供給されるマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持またはさらに高める第2誘電体と、

前記マイクロ波により前記反応器内に発生するプラズマを用いて前記試料を処理する処理手段と、

を有するプラズマ処理装置。

【請求項 2】

前記第2誘電体は前記試料の処理面に沿う断面が矩形状である、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記反応器は、前記試料の処理面に沿う断面が矩形状に形成されている、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記マイクロ波発生手段は前記試料の処理面に沿う断面が矩形状のアンテナを含んでおり、前記アンテナは前記第1誘電体に接している、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記第1スロットは概ね同一サイズの同一形状で、概ね同一方向に沿って設け

られており、隣接する前記第1スロットの中心間の距離 $L_1$ は、実質的に、下記式（1）を満たす請求項1に記載のプラズマ処理装置

$$L_1 = n_{L1} \lambda_1 \quad \cdots \quad (1)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

$n_{L1}$ ：1以上の整数。

### 【請求項6】

前記第1スロットは概ね同一サイズの同一形状であり、前記スロット板に沿う互いに直交する軸のいずれかに関して線対称に配置され、かつ隣接する第1スロットの中心間の距離 $L_2$ は、実質的に、下記式（2）を満たす請求項1に記載のプラズマ処理装置

$$L_2 = n_{L2} (\lambda_1 / 2) \quad \cdots \quad (2)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

$n_{L2}$ ：1以上の整数。

### 【請求項7】

前記試料の処理面に沿う方向における、前記第1誘電体の対向する二辺が平行であり、前記第1誘電体の対向する二辺の間隔 $L_{d1}$ は、実質的に、下記式（3）を満たす請求項1に記載のプラズマ処理装置

$$L_{d1} = n_{d1} (\lambda_1 / 2) \quad \cdots \quad (3)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

$n_{d1}$ ：1以上の整数。

### 【請求項8】

前記試料の処理面に沿う方向における、前記第2誘電体の対向する二辺が平行であり、前記第2誘電体の対向する二辺の間隔 $L_{d2}$ は、実質的に、下記式（4）を満たす請求項2に記載のプラズマ処理装置

$$L_{d2} = n_{d2} (\lambda_2 / 2) \quad \cdots \quad (4)$$

ここで、 $\lambda_2$ ：前記第2誘電体内のマイクロ波の波長

$n_{d2}$ ：1以上の整数。

### 【請求項9】

前記第1誘電体及び前記第2誘電体の各々の比誘電率は概ね同一である、請求

項7または8に記載のプラズマ処理装置。

【請求項10】

前記試料の処理面に沿う方向における、前記反応器の対向する二辺が平行であり、前記反応器の対向する二辺の長さ $L_P$ は、実質的に、下記式(5)を満たす請求項3に記載のプラズマ処理装置

$$L_P = n_P (\lambda_P / 2) \quad \cdots (5)$$

ここで、 $\lambda_P$ ：前記反応器内のマイクロ波の波長

$n_P$ ：1以上の整数。

【請求項11】

前記マイクロ波発生手段の前記第1誘電体と接する面(以下、導入面)の対向する二辺が平行であり、前記導入面には前記マイクロ波発生手段から前記第1誘電体にマイクロ波を導入する複数の第2スロットが設けられており、前記第2スロットの中心位置の各々は、前記導入面の対向する二辺に沿う2つの軸上に交互に位置し、前記2つの軸の間隔 $L_5$ は、実質的に、下記式(6)を満たす請求項2に記載のプラズマ処理装置

$$L_5 = n_{L5} (\lambda_1 / 2) \quad \cdots (6)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

$n_{L5}$ ：1以上の整数。

【請求項12】

前記2つの軸上に交互に隣接して配置された前記第2スロットの中心間の前記軸方向における距離 $L_4$ は、実質的に、下記式(7)を満たす請求項11に記載のプラズマ処理装置

$$L_4 = n_{L4} (\lambda_1 / 2) \quad \cdots (7)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

$n_{L4}$ ：1以上の整数。

【請求項13】

前記第1誘電体のうち前記導入面の対向する二辺に沿う端面と前記2つの軸との距離 $D$ が、実質的に、下記式(8)を満たす請求項11または12に記載のプラズマ処理装置

$$D = n_D (1/4) \lambda_1 \dots (8)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

$n_D$ ：1以上の整数。

#### 【請求項 14】

前記スロット板の厚みは1mm以上である、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

#### 【請求項 15】

前記スロット板の厚みは3mm以上である、請求項14に記載のプラズマ処理装置。

#### 【請求項 16】

前記スロット板の前記第1スロットは長方形状であり、前記第1スロットの長辺方向の長さ $L_7$ は、実質的に、下記式(9)を満たす請求項14または15に記載のプラズマ処理装置

$$L_7 \geq (3/8) \lambda_1 \dots (9)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長。

#### 【請求項 17】

前記第1スロットの長辺方向の長さ $L_7$ は、実質的に、下記式(10)を満たす請求項16に記載のプラズマ処理装置

$$L_7 \geq (1/2) \lambda_1 \dots (10)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記スロット板に導入されるマイクロ波の波長。

#### 【請求項 18】

前記第1スロットの長辺方向の長さ $L_7$ は、実質的に、下記式(11)を満たす請求項17に記載のプラズマ処理装置

$$L_7 = (1/2) \lambda_1 \dots (11)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記スロット板に導入されるマイクロ波の波長。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、マイクロ波により発生したプラズマを利用するプラズマ処理装置に

関するものである。

### 【0002】

#### 【従来の技術】

近年、IC (integrated circuit) の微細化及びウェハの大口径化が進み、それに伴い大口径な薄膜を均一に作成することが要求されている。特に、ゲート酸化膜は、ICの特性を左右するため薄く均一に形成する必要がある。そこでゲート酸化膜等の薄膜を、マイクロ波（例えば、2.45GHz）を用いたプラズマ処理装置により形成している。このマイクロ波を用いたプラズマ処理装置では、高い周波数を有するマイクロ波により高密度、かつ低電子温度のプラズマを得ることができる。よって、ゲート酸化膜等の薄膜への電気的破壊や物理的破壊の影響を抑えることができる。このようにマイクロ波を用いると効率よくダメージの少ない薄膜を形成することができるが、マイクロ波の波長はウェハ径と同程度であるため、マイクロ波により大口径な薄膜を均一に作成する場合、後述の波の性質による影響を受け易い。

### 【0003】

#### 【発明が解決しようとする課題】

プラズマ処理装置において、プラズマを発生させるためのマイクロ波が伝搬する領域である誘電体等は、試料（例えばシリコンウェハ）の形状に合わせて、円筒形状や円形状に形成されている。そのため、図18に示すように、マイクロ波が円筒形状の伝搬領域の壁面14において互いに集まる方向、あるいは分散する方向に反射する。これは、マイクロ波の波の性質が顕著であるためである。図19は、このような円筒形状の伝搬領域におけるマイクロ波の電界強度分布であり、マイクロ波の電界強度分布が円筒形状の領域内において中央部に偏り、不均一となる性質を有していることを示している。よって、円筒形状の伝搬領域において不均一となったマイクロ波により不均一なプラズマが発生し、この不均一なプラズマにより励起・活性化されたガス分子により試料の表面に薄膜が形成される。そのため、均一な薄膜形成が困難となっている。また、ウェハの大口径に伴い、プラズマを発生させるマイクロ波の伝搬領域も大きくなるため、マイクロ波の電界強度分布の偏りが顕著となり易く、均一なプラズマを発生させることが困難

となる。

#### 【0004】

そこで、マイクロ波がプラズマにより反射・吸収される性質を利用し、不均一なマイクロ波をプラズマに反射・吸収させて均一にする方法が採られている。例えば、円形状または円筒形状の外側部分のみからマイクロ波の導入を行って不均一なマイクロ波を導入し、そのマイクロ波の不均一性をプラズマにより吸収し、バランスをとることで均一な励起を行う方法が用いられている。

しかし、この方法では、ガスの流量・組成比、圧力、試料温度等のプロセス条件の変化に対してバランスを維持することが難しく、処理内容に応じて、そのプロセス条件を設定する必要がある。また、メンテナンス等による多少の状態変化によってもプロセス条件が変わってしまう等、プロセスマージンが小さいという問題がある。

#### 【0005】

そこで、本発明は、試料の処理面に対して均一な処理を施すことができるプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

また、本発明は、プロセスマージンを拡大することができるプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

#### 【0006】

##### 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本願第1発明は、反応器内の試料にプラズマ処理を行うプラズマ処理装置であって、マイクロ波を発生するマイクロ波発生手段と、前記マイクロ波発生手段に接続され、前記試料の処理面に沿う断面が矩形状であり、前記マイクロ波発生手段から発生したマイクロ波の電界強度分布を前記試料の処理面に沿って概ね均一にする第1誘電体と、前記反応器と前記第1誘電体との間に設けられ、複数の第1スロットが形成されており、前記第1誘電体内のマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持またはさらに高めるスロット板と、前記スロット板と前記反応器との間に設けられ、前記スロット板から供給されるマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持またはさらに高める第2誘電体と、前記マイクロ波により前記反応器内に発生するプラズマを用いて前記試料を処理する

処理手段とを有するプラズマ処理装置を提供する。

### 【0007】

上記のプラズマ処理装置では、マイクロ波が伝播する第1誘電体の断面を上記のように矩形状とすることで、マイクロ波の電界強度分布が試料の処理面に沿って全体として概ね均一（以下、単に均一という）となり、均一なプラズマが発生する。このプラズマにより励起・活性化されたガス分子によって均一な薄膜形成やエッチングなどが可能となる。また、ガスの流量・組成比等のプロセス条件の変更やメンテナンス等によるプロセス条件の変化に対しても、マイクロ波が伝播する領域が矩形状であるためマイクロ波の電界強度分布が偏りにくい。よって、プロセスマージンを拡大することができる。

### 【0008】

本願第2発明は、前記第1発明において、前記第2誘電体は前記試料の処理面に沿う断面が矩形状であるプラズマ処理装置を提供する。

第2誘電体を矩形状とすることで、さらにマイクロ波を均一化し易くなる。

本願第3発明は、前記第1発明において、前記反応器は、前記試料の処理面に沿う断面が矩形状に形成されているプラズマ処理装置を提供する。

反応器を矩形状とすることにより、第2誘電体から導入され、プラズマにより吸収されずに反応器内を伝搬しているマイクロ波の電界強度分布を均一化できる。よって、不均一なマイクロ波によるプラズマの乱れが低減される。

### 【0009】

本願第4発明は、前記第1発明において、前記マイクロ波発生手段は前記試料の処理面に沿う断面が矩形状のアンテナを含んでおり、前記アンテナは前記第1誘電体に接しているプラズマ処理装置を提供する。

上記の矩形状のアンテナを使用した場合には、一点に大電力が集中することがなく、発熱・異常放電等の特性変動が生じにくい。また、安定に固定することができ特性変動が生じにくい。

本願第5発明は、前記第1発明において、前記第1スロットは概ね同一サイズの同一形状で、概ね同一方向に沿って設けられており、隣接する前記第1スロットの中心間の距離 $L_1$ は、実質的に、下記式（1）を満たすプラズマ処理装置を

提供する。

【0010】

$$L_1 = n_{L1} \lambda_1 \quad \dots \quad (1)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

$n_{L1}$ ：1以上の整数である。

第1誘電体内の波長 $\lambda_1$ のマイクロ波が、各々の中心間の距離が $\lambda_1$ の整数倍である第1スロットから第2誘電体に導入されると、各々の第1スロットの中心位置における第2誘電体内のマイクロ波の位相が揃うため、マイクロ波の損失を最小限とし、かつ均一なプラズマの励起が可能となる。

【0011】

本願第6発明は、前記第1発明において、前記第1スロットは概ね同一サイズの同一形状であり、前記スロット板に沿う互いに直交する軸のいずれかに関する線対称に配置され、かつ隣接する第1スロットの中心間の距離 $L_2$ は、実質的に、下記式（2）を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_2 = n_{L2} (\lambda_1 / 2) \quad \dots \quad (2)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

$n_{L2}$ ：1以上の整数である。

【0012】

前記第5発明と同様に、マイクロ波の損失を最小限とし、かつ均一なプラズマの励起ができ、さらに第1スロットの実装密度を高めることができる。

本願第7発明は、前記第1発明において、前記試料の処理面に沿う方向における、前記第1誘電体の対向する二辺が平行であり、前記第1誘電体の対向する二辺の間隔 $L_{d1}$ は、実質的に、下記式（3）を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_{d1} = n_{d1} (\lambda_1 / 2) \quad \dots \quad (3)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

$n_{d1}$ ：1以上の整数である。

【0013】

上記の構成により、第1誘電体内の試料の処理面に沿う方向において、マイク

口波の定在波条件が満たされ、第1誘電体内のマイクロ波が安定する。よって、マイクロ波伝搬領域の壁面を端面とした多重反射による波のうち消し合いが低減し、効率よく均一なプラズマを発生させることができる。

本願第8発明は、前記第2発明において、前記試料の処理面に沿う方向における、前記第2誘電体の対向する二辺が平行であり、前記第2誘電体の対向する二辺の間隔  $L_{d2}$  は、実質的に、下記式（4）を満たすプラズマ処理装置を提供する。

#### 【0014】

$$L_{d2} = n_{d2} (\lambda_2 / 2) \quad \cdots (4)$$

ここで、 $\lambda_2$ ：前記第2誘電体内のマイクロ波の波長

$n_{d2}$ ：1以上の整数である。

上記の構成により、前記第7発明と同様に、第2誘電体内のマイクロ波が安定し、均一なプラズマを発生させることができる。

本願第9発明は、前記第7または第8発明において、前記第1誘電体及び前記第2誘電体の各々の比誘電率は概ね同一であるプラズマ処理装置を提供する。

#### 【0015】

誘電率が実質的に同一であると、前記試料の処理面に沿う方向における第1誘電体及び第2誘電体の長さを揃えることができるため、より現実的な設計が可能となる。

本願第10発明は、前記第3発明において、前記試料の処理面に沿う方向における、前記反応器の対向する二辺が平行であり、前記反応器の対向する二辺の長さ  $L_p$  は、実質的に、下記式（5）を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_p = n_p (\lambda_p / 2) \quad \cdots (5)$$

ここで、 $\lambda_p$ ：前記反応器内のマイクロ波の波長

$n_p$ ：1以上の整数である。

#### 【0016】

上記の構成により、前記第7発明と同様に、反応器内のマイクロ波が安定し、均一なプラズマを発生させることができる。

本願第11発明は、前記第2発明において、前記マイクロ波発生手段の前記第

1誘電体と接する面（以下、導入面）の対向する二辺が平行であり、前記導入面には前記マイクロ波発生手段から前記第1誘電体にマイクロ波を導入する複数の第2スロットが設けられており、前記第2スロットの中心位置の各々は、前記導入面の対向する二辺に沿う2つの軸上に交互に位置し、前記2つの軸の間隔L5は、実質的に、下記式（6）を満たすプラズマ処理装置を提供する。

#### 【0017】

$$L_5 = n L_5 (\lambda_1 / 2) \quad \dots (6)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

$n L_5$ ：1以上の整数である。

上記の構成により、マイクロ波発生手段の導入面における第2スロットの中心位置の間隔と第1誘電体内のマイクロ波の波長とを揃え、かつ結合度を高めることができる。よって、軸上の第2スロットを介して誘電体に導入されるマイクロ波が互いに打ち消し合う等の干渉を低減し、マイクロ波を均一化し易くなり、均一なプラズマを発生させることができる。

#### 【0018】

また、前記軸は前記導入面の辺方向の中心軸に関して線対称であると、第2スロットから導入されるマイクロ波と第1誘電体内のマイクロ波との結合度が同程度となり、マイクロ波を均一化し易くなる。

さらに、マイクロ波発生手段の前記軸と直交する方向の幅W<sub>1</sub>が、概ね前記軸の間隔L<sub>5</sub>に等しくなるように設定すると好ましい。このように幅W<sub>1</sub>を設定することで、導入部から導入されるマイクロ波と第1誘電体内のマイクロ波との結合度を高めることができる。

#### 【0019】

本願第12発明は、前記第11発明において、前記2つの軸上に交互に隣接して配置された前記第2スロットの中心間の前記軸方向における距離L<sub>4</sub>は、実質的に、下記式（7）を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_4 = n L_4 (\lambda_1 / 2) \quad \dots (7)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

$n L_4$ ：1以上の整数である。

上記の構成により、2つの軸上の交互に配置された第2スロットから第1誘電体に導入されるマイクロ波の位相及び結合度を揃えることができる。

### 【0020】

本願第13発明は、前記第11または第12発明において、前記第1誘電体のうち前記導入面の対向する二辺に沿う端面と前記2つの軸との距離Dが、実質的に、下記式（8）を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$D = n_D (1/4) \lambda_1 \dots (8)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長

$n_D$ ：1以上の整数である。

上記の構成により、第1誘電体とマイクロ波発生手段との結合部をチョークと逆の関係とすることで、両者のより高い結合度を得ることができる。よって、マイクロ波を均一化し易くなる。

### 【0021】

本願第14発明は、前記第1発明において、前記スロット板の厚みは1mm以上であるプラズマ処理装置を提供する。

厚みが1mm以上のスロット板によりプラズマを発生させる際に生じる熱の放熱特性や剛性が向上し、熱変形等による特性変動を抑制することができる。また、スロット板の第1スロットでの電界集中が緩和されることで、火花や異常放電発生などの問題を低減することができる。

本願第15発明は、前記第14発明において、前記スロット板の厚みは3mm以上であるプラズマ処理装置を提供する。

### 【0022】

厚みが3mm以上のスロット板により放熱特性や剛性をさらに向上することができ、より安定した装置特性が得られる。

本願第16発明は、前記第14または第15発明において、前記スロット板の前記第1スロットは長方形状であり、前記第1スロットの長辺方向の長さ $L_7$ は、実質的に、下記式（9）を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_7 \geq (3/8) \lambda_1 \dots (9)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記第1誘電体内のマイクロ波の波長である。

## 【0023】

上記の構成により、スロット板の厚みが厚い場合でも第1スロットによるマイクロ波の減衰を防止し、スロット板を通過した第1誘電体内のマイクロ波と第2誘電体内のマイクロ波との結合度を良好にすることができる。

本願第17発明は、前記第16発明において、前記第1スロットの長辺方向の長さ $L_7$ は、実質的に、下記式(10)を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_7 \geq (1/2) \lambda_1 \dots (10)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記スロット板に導入されるマイクロ波の波長である。

## 【0024】

上記の構成により、スロット板の厚みが厚い場合でも第1スロットによるマイクロ波の減衰をさらに防止し、マイクロ波の透過特性を改善することができる。よって、スロット板を通過した第1誘電体内のマイクロ波と第2誘電体内のマイクロ波との結合度をさらに良好にすることができる。

本願第18発明は、前記第17発明において、前記第1スロットの長辺方向の長さ $L_7$ は、実質的に、下記式(11)を満たすプラズマ処理装置を提供する。

$$L_7 = (1/2) \lambda_1 \dots (11)$$

ここで、 $\lambda_1$ ：前記スロット板に導入されるマイクロ波の波長である。

## 【0025】

上記の構成により、第1スロットの長辺方向の長さが、スロット板に導入されるマイクロ波の波長のほぼ共振長となる。よって、第1スロットの短辺方向の長さが狭い場合であってもマイクロ波の透過率を効率よく高めつつ、かつマイクロ波の分布を乱さずに高い結合度を得ることができる。また、第1スロットの長辺方向における隣接する第1スロット間隔 $L_8$ を、実質的に、 $L_8 = \lambda_1$ とすると各第1スロットから第2誘電体に導入されるマイクロ波の位相が揃うのでさらに好ましい。

## 【0026】

## 【発明の実施の形態】

## &lt;プラズマ処理装置&gt;

プラズマ処理装置は、マイクロ波発生器、処理室及び処理室上部のマイクロ波

伝搬領域を有しており、以下のように処理が行われる。

マイクロ波発生器より発生したマイクロ波がマイクロ波伝搬領域を伝搬し、ガス雰囲気の処理室内に電界が形成される。この電界とガスとによりプラズマが発生し、プラズマにより生成された化学種により成膜、エッチング、気相洗浄等の処理が処理室の試料に施される。

### 【0027】

このようなプラズマを利用したプラズマ処理装置には、プラズマにより酸化・塗化を行う装置（以下、プラズマ酸塗化装置という）、プラズマCVD（Chemical Vapor Deposition）装置、プラズマエッチング装置、プラズマアッシング装置、プラズマ洗浄装置、プラズマアニール装置等がある。

以下に、本発明のプラズマ処理装置として、プラズマ酸塗化装置を例に挙げて説明する。

#### ＜第1実施形態例＞

図1は第1実施形態例に係るプラズマ酸塗化装置の外観、図2は図1のA-A'を含む試料の処理面に垂直な方向における図1の装置の断面図、図3は図1に示すプラズマ酸塗化装置の要部の分解斜視図である。

### 【0028】

第1実施形態例に係るプラズマ酸塗化装置は、マイクロ波発生器1、矩形導波管2及びチャンバ4を有している。チャンバ4には、成膜ガス等のガスを導入するガス導入口5及びガスを排出するガス排出口6が取り付けられている。また、チャンバ4は、矩形状のチャンバ蓋（以下、矩形チャンバ蓋）4aと円筒形状の処理室（以下、円形処理室）4bとを有している。円形処理室4bには、矩形チャンバ蓋4aと対向する位置に試料12を処理するための試料台11が設けられている。円形処理室4bの側面には、ガス導入口5から成膜ガス等のガスを円形処理室4bに供給するガス導入部10が設けられている。一方、矩形チャンバ蓋4aには、上から順にそれぞれ試料12の処理面に沿う断面が矩形状の誘電体（以下、矩形アンテナ誘電体）15、スロット板17及び封止誘電体19が円形処理室4bの上部を覆うように設けられている。チャンバ4上には、矩形導波管2

及び矩形導波管2に接続されたマイクロ波発生器1が設けられている。

### 【0029】

矩形導波管2のかわりに、スロットアンテナ、同軸アンテナ等その他のアンテナを設けても良い。

ここで、矩形アンテナ誘電体15は、その内部におけるマイクロ波の電界強度分布を、試料12の処理面に沿う方向に概ね均一化するための誘電体である（以下、電界強度分布が概ね均一なマイクロ波を、均一なマイクロ波と称する。また、以下の“均一”とは“試料12の処理面に沿う方向に概ね均一”をいうものとする）。矩形アンテナ誘電体15下部のスロット板17は、スロット17aを介して均一なマイクロ波を均一に封止誘電体19に導入する。また、スロット板17は、矩形アンテナ誘電体15を円形処理室4b内のプラズマから分離し、プラズマによるマイクロ波への干渉を抑制している。封止誘電体19は、真空状態の円形処理室4bを大気から隔離するための誘電体である。ここで、封止誘電体19の試料12の処理面に沿う断面が矩形状であると、マイクロ波の電界強度分布をさらに均一化し易い。

### 【0030】

上記の誘電体としては、石英、フッ素樹脂、ポリエチレン、ポリスチレン等の誘電損失の少ない物質が好ましい。誘電体は、真空、空気、ガス等比誘電率が“1”である場合を含む。また、誘電体の表面の少なくとも一部が導体で覆われている場合を含む。スロット板の材質としては、Cu、Al等の金属板が用いられる。このプラズマ酸化装置では、例えば以下のように成膜の処理が行われる。

まず、ガス排出口6より排気を行って、円形処理室4b内を所定の真空度にし、ガス導入口5及びガス導入部10を介して円形処理室4b内にガスを導入する。次に、マイクロ波発生器1より発生したマイクロ波を、矩形導波管2を介して矩形アンテナ誘電体15に導入し、その電界強度分布を均一化する。矩形アンテナ誘電体15により均一化されたマイクロ波は、スロット板17により均一性を保持したままあるいはさらに高められ、封止誘電体19に導入される。封止誘電体19は、導入されたマイクロ波の均一性を保持したままあるいはさらに高め、円形処理室4b内に導入する。導入されたマイクロ波により発生したプラズマは

、ガス分子を励起・活性化させ化学種を生成し、試料12の表面に薄膜を形成する。

### 【0031】

このプラズマ酸化装置は、試料12の処理面に沿う面方向にマイクロ波を伝搬させる領域、すなわち矩形アンテナ誘電体15の試料12の処理面に沿う断面が矩形状である。よって、図4に示すように、マイクロ波がその進行方向と垂直な壁面16において、入射された方向と鏡面方向に反射される。図5は、このような断面が矩形状の断面を有する伝搬領域におけるマイクロ波の電界強度分布である。この図は、マイクロ波の進行方向と垂直な壁面16で反射されたマイクロ波が、中央部に偏っておらず全体として均一な電界強度分布となることを示している。

### 【0032】

よって、プラズマ酸化装置の矩形アンテナ誘電体15の試料12の処理面に沿う断面を矩形状とすることで、マイクロ波の電界強度分布が試料の処理面に沿って全体として均一となる。その均一なマイクロ波により均一にプラズマが発生し、均一な薄膜形成が可能となる。また、ガスの流量・組成比等のプロセス条件の変更やメンテナンス等によるプロセス条件の変化が生じても、マイクロ波が伝播する領域が矩形状であるためマイクロ波の電界強度分布が偏りにくい。よって、プロセスマージンを拡大することができる。

#### ＜第1実施例＞

以下の図6～図11を参照し、第1実施形態例に係るプラズマ酸化装置について、第1実施例を挙げてより具体的に説明する。図6は第1実施例のプラズマ酸化装置の外観、図7は図6のB-B'を含む図中X軸に垂直な図6の装置の断面図、図8は図6に示すプラズマ酸化装置の要部の分解斜視図、図9はH面スロットアンテナのスロット形状、図10(a), (b)は矩形スロット板のスロットの形状、図11(a), (b)は図10(a), (b)それぞれに示すスロット形状と矩形アンテナ誘電体内を伝搬するある時間におけるマイクロ波の波長との関係を示す説明図である。

#### [全体構成]

本実施例に係るプラズマ酸窒化装置は、矩形導波管20、H面スロットアンテナ30及び試料12の処理面に沿う断面が矩形状のチャンバ（以下、矩形チャンバ）25を有している。また、矩形チャンバ25には、試料12の処理面に沿う断面が矩形状の処理室（以下、矩形処理室）25b及び矩形処理室25bを覆う、試料12の処理面に沿う断面が矩形状のチャンバ蓋（以下、矩形チャンバ蓋）25aが設けられている。

### 【0033】

矩形チャンバ蓋25aは、図8に示すように、上から順にそれぞれ矩形アンテナ誘電体34、スロット36aが設けられた、試料12の処理面に沿う断面が矩形状のスロット板（以下、矩形スロット板）36及び試料12の処理面に沿う断面が矩形状の誘電体（以下、矩形封止誘電体）38を有している。矩形アンテナ誘電体34上には、H面スロットアンテナ30が載置されており、このH面スロットアンテナ30により矩形導波管20から矩形アンテナ誘電体34にマイクロ波が導入される。

### 【0034】

H面スロットアンテナ30は、上部30a、側部30b及び底部30cを有している。底部30cつまりH面スロットアンテナ30のH面には、図9に示すようにH面スロットアンテナ30の辺方向に沿って、長方形状のスロット30dが形成されている。H面スロットアンテナ30上部には矩形導波管20が搭載されている。その他の構成は、前記第1実施形態例と同様である。

以下に、本実施例に係るプラズマ酸窒化装置の各部について詳細に説明する。

#### [矩形アンテナ誘電体]

矩形状に形成されている矩形アンテナ誘電体34は、マイクロ波の電界強度分布を均一化する。また、矩形アンテナ誘電体34は、矩形処理室25bとの間に設けられた矩形スロット板36によって、矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波と矩形処理室25b内のプラズマにより反射されたマイクロ波との結合を抑制されている。そのため、矩形アンテナ誘電体34内を伝搬するマイクロ波はプラズマの影響を受けにくく、マイクロ波の電界強度分布を均一化し易い。

#### [矩形封止誘電体]

矩形封止誘電体38は、矩形状に形成されており、矩形スロット板36より導入されたマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持したままあるいはさらに高め、矩形封止誘電体38下方の矩形処理室25bにプラズマを発生させるための電界を形成する。また、矩形封止誘電体38は、真空状態の矩形処理室25bを大気から隔離し、清浄空間に保つ。

#### [矩形処理室]

矩形処理室25bでは、矩形封止誘電体38内のマイクロ波により電界が形成される。矩形封止誘電体38から均一なマイクロ波が導入されているため、矩形処理室25b内では均一なプラズマが発生する。このプラズマにより励起・活性化されたガス分子によって、均一な薄膜が試料12上に形成される。矩形処理室25bは、その中で発生したプラズマによりマイクロ波が反射・吸収されるため通常マイクロ波が伝搬する領域ではない。よって、矩形処理室25bの試料12処理面に沿う方向の断面は必ずしも矩形状である必要はない。ただし、マイクロ波が完全に吸収されずに矩形処理室25b内を伝搬する場合もあるので、不均一なマイクロ波によりプラズマの均一性が乱されないように矩形処理室25bの試料12処理面に沿う断面を矩形状とするのが好ましい。このようにすることで、プラズマの均一性をさらに高め、より均一な薄膜を形成することができる。

#### [矩形スロット板]

矩形スロット板36は、矩形アンテナ誘電体34から導入されるマイクロ波の電界強度分布の均一性を、スロット36aにより保持したままあるいはさらに高める。また、矩形処理室25bで発生されるプラズマの影響が、矩形アンテナ誘電体34に及ぶのを抑制している。矩形スロット板36は、必ずしも試料12の処理面に沿う断面が矩形状である必要はなく、矩形アンテナ誘電体34、矩形封止誘電体38及び矩形処理室25bを覆う形状であれば良く、例えば円形状であっても良い。

#### 【0035】

矩形スロット板36に設けられたスロット36aの形状及び配置としては、矩形アンテナ誘電体34内を伝搬するマイクロ波の波長を $\lambda_{34}$ とすると、例えば図10(a)、(b)に示すパターンが挙げられる。図10(a)では、長方形状

のスロット36aが、概ね同一サイズ及び同一方向で複数設けられている。また、隣接するスロット36aの中心間の距離L<sub>1</sub>を、実質的に、下記式（12）を満たすように設定する。

$$L_1 = n_{L1} \lambda_{34} \quad \dots (12)$$

ここで、 $\lambda_{34}$ は矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波の波長、 $n_{L1}$ は1以上の整数である。スロット36aは、矩形封止誘電体38内でのマイクロ波分布に応じて、その傾斜角度を変更することもできる。つまり、試料12の処理方法や装置の処理条件などに応じて矩形封止誘電体38内でのマイクロ波のX方向の伝搬成分とY方向の伝搬成分との比を考慮し、スロット36aの傾斜角度を変更する。図11（a）に示す矩形アンテナ誘電体34内を伝搬する波長 $\lambda_{34}$ のマイクロ波がスロット板36に導入されると、図11（a）の斜線部分のマイクロ波が各々のスロット36aから矩形封止誘電体38に導入される。よって、各々のスロット36aの中心位置における矩形封止誘電体38内でのマイクロ波の位相が揃うため、矩形封止誘電体38に導入されるマイクロ波と矩形封止誘電体38内を伝搬するマイクロ波との結合度を高めることができる。

### 【0036】

一方、図10（b）では、長方形状のスロット36aが、概ね同一サイズで複数設けられており、前記スロット板に沿う互いに直交する軸のいずれかに関して線対称である。また、隣接するスロット36aの中心間の距離L<sub>2</sub>を、実質的に、下記式（13）を満たすように設定する。

$$L_2 = n_{L2} (\lambda_{34}/2) \quad \dots (13)$$

ここで、 $\lambda_{34}$ は矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波の波長、 $n_{L2}$ は1以上の整数である。スロット36aの傾斜角度は前述の通りである。図11（b）に示す矩形アンテナ誘電体34内を伝搬する波長 $\lambda_{34}$ のマイクロ波がスロット板36に導入されると、図11（b）の斜線部分のマイクロ波が各々のスロット36aから矩形封止誘電体38に導入される。よって、前述と同様に、マイクロ波同士の干渉による損失を抑制しつつ、かつスロットの実装密度を高めることができ、より均一なプラズマの励起が可能となる。

### 【0037】

また、スロット36a内部の比誘電率と矩形アンテナ誘電体34の比誘電率とが同程度であれば、スロット36aを通過する際のマイクロ波の反射を低減することができ、設計も容易となるのでより好ましい。

#### [H面スロットアンテナ]

H面スロットアンテナ30は、図9に示すように底部30cにH面スロットアンテナ30の辺方向に沿って、一定間隔毎に長方形状のスロット30dを有している。よって、矩形アンテナ誘電体34、矩形スロット板36、矩形封止誘電体38によりマイクロ波を均一化するとともに、マイクロ波の電界強度分布の均一性を高めるのに有効である。ここでは、アンテナとしてH面スロットアンテナを用いているが、E面スロットアンテナ、円形導波管、同軸導波管、スロット以外の結合素子等を使用することもできる。なかでも、断面が矩形状のスロットアンテナを使用した場合には、一点に大電力が集中することがなく、発熱・異常放電等の特性変動が生じにくい。また、スロットアンテナが矩形状であるため、矩形アンテナ誘電体34に固定し易く特性変動が生じにくいため、均一なプラズマを発生させることができる。

#### 【0038】

H面スロットアンテナ30は、少なくとも1カ所に設置すればよいが、大口径な試料を処理する大型な装置に対応させて、複数個設けたり、分岐させて誘電体にマイクロ波を導入するようにしても良い。このとき、偶数個設けるようにすると設計が容易で好ましい。さらに $2^n$ (nは自然数)個設けるようにするとより好ましい。

#### [矩形チャンバ]

矩形チャンバ25は、矩形アンテナ誘電体34、矩形封止誘電体38等にあわせて試料12の処理面に沿う断面を矩形状に形成すると電気的・構造的な不整合が少なくなるので好ましい。ただし、プラズマが発生した際には、矩形チャンバ25内ではマイクロ波がプラズマに反射・吸収され、マイクロ波の伝搬領域ではなくなるため矩形状でなくても良い。

#### 【0039】

本実施例に係るプラズマ酸化装置は、試料12の処理面に沿う面方向にマイ

クロ波を伝搬させる領域、すなわち矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38が矩形状を有しているので、マイクロ波の電界強度分布が全体として均一となり、均一にプラズマが発生する。よって、このプラズマにより均一な薄膜形成が可能となり、ガスの流量・組成比等プロセスマージンを拡大することができる。

また、矩形アンテナ誘電体34により電界強度分布が均一化されたマイクロ波が、矩形スロット板36を介して均一に矩形封止誘電体38に導入され、矩形封止誘電体38によりさらに均一性が高められるため、マイクロ波の均一性を保持し易い。

#### 【0040】

上記の矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38において、均一化されたマイクロ波はプラズマにより減衰しうるため、必ずしも定在波条件を満たしている必要はなく、概ね均一な電界強度分布を有するマイクロ波であれば良い。ただし、定在波条件を満たしていれば多重反射によるうち消し合いが低減し、より均一にプラズマを発生させ易く、試料12表面にさらに均一に薄膜が形成されるので好ましい。同様の理由により、矩形処理室25b、矩形スロット板36、H面スロットアンテナ30、矩形導波管20もマイクロ波の定在波条件を満たしていると好ましい。

#### ＜第2実施例＞

以下に、第1実施形態例に係るプラズマ酸化装置について、第2実施例を挙げて説明する。ただし、第2実施例に係るプラズマ酸化装置は、以下に記載の矩形処理室25b、矩形封止誘電体38、矩形アンテナ誘電体34以外については、第1実施例と同様の構成を有している。

#### 【0041】

図12は、図7のプラズマ酸化装置の要部とマイクロ波伝搬領域におけるマイクロ波のY方向の波長との関係を示している。なお図6または図8において、矩形アンテナ誘電体34、矩形封止誘電体38及び矩形処理室25bの試料12の処理面に沿う断面において、二組の対向する平行な二辺と同一なそれぞれの方向をX方向及びY方向とし、X、Y方向と垂直な方向をZ方向とする。また、図

9に示すように、H面スロットアンテナ30の長方形状のスロット30dは、Y方向に沿って設けられている。

### 【0042】

このとき、H面スロットアンテナ30、矩形アンテナ誘電体34、矩形封止誘電体38及び矩形処理室25bの試料12の処理面に沿う断面は、例えば長方形状または正方形状である。

本実施例の矩形アンテナ誘電体34のX方向の長さL<sub>34X</sub>及び矩形封止誘電体38のX方向の長さL<sub>38X</sub>及び／またはY方向の長さL<sub>38Y</sub>は、それぞれのマイクロ波伝搬領域を伝搬するマイクロ波の波長λの半分（λ/2）の整数倍に設定されている。つまり、それぞれのY方向の長さを、実質的に次式（14）、（15）及び／または（16）を満たすように設定する。

$$L_{34X} = n_{34X} \times (\lambda_{34}/2) \quad \cdots (14)$$

$$L_{38X} = n_{38X} \times (\lambda_{38}/2) \quad \cdots (15)$$

$$L_{38Y} = n_{38Y} \times (\lambda_{38}/2) \quad \cdots (16)$$

ここで、λ<sub>34</sub>は矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波の波長、λ<sub>38</sub>は矩形封止誘電体38内のマイクロ波の波長、n<sub>34X</sub>、n<sub>38X</sub>及びn<sub>38Y</sub>は1以上の整数である。上記の式（14）～（16）の波長λ<sub>34</sub>及び波長λ<sub>38</sub>は、矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38のX方向及びY方向の長さが各々の波長λ<sub>34</sub>及び波長λ<sub>38</sub>より十分に大きい場合、X方向及びY方向など全方向において実質的に同一の波長となり、下記式（17）、（18）で表される。

### 【0043】

#### 【数1】

$$\lambda_{34} = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{r34}}} \quad \cdots (17)$$

$$\lambda_{38} = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{r38}}} \quad \cdots (18)$$

ここで、λ=自由空間波長、ε<sub>r34</sub>=矩形アンテナ誘電体34の比誘電率、ε<sub>r38</sub>=矩形封止誘電体38の比誘電率である。

誘電体の設計は、矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38内のマイ

クロ波の伝播方向の成分を考慮し、X方向及び／またはY方向の長さを設定する。さらに、Z方向の長さについても同様に設定すると好ましい。

#### 【0044】

上記のように矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38のY方向の長さを設定することで、各々の誘電体内の試料12の処理面に沿う方向において、マイクロ波の定在波条件が満たされ、矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38内のマイクロ波が安定する。よって、マイクロ波伝搬領域の壁面を端面とした多重反射による波のうち消し合いが低減し、効率よく均一なプラズマを発生させることができる。これにより、大口径ウェハにおいて薄膜を均一に生成することができる。

#### 【0045】

なお、誘電体内のマイクロ波の波長 $\lambda$ は比誘電率 $\epsilon_r$ により変化するため、矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38を同一物質で形成するか、あるいは同程度の比誘電率を有する物質で形成するのがさらに好ましい。比誘電率 $\epsilon_r$ が同程度であると波長 $\lambda_{34}$ 、 $\lambda_{38}$ が同程度となり、矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38のX方向及び／またはY方向の長さを揃えることができ、より現実的な設計が可能となる。

同様に、矩形処理室25bのX方向及び／またはY方向の長さを、実質的に、矩形処理室25b内のマイクロ波の波長の半波長の整数倍を満たすように設定すると好ましい。

#### 【0046】

矩形処理室25bは、マイクロ波がプラズマに反射・吸収されるため通常マイクロ波の伝搬領域ではないが、プラズマに反射・吸収されず矩形処理室25b内を伝搬するマイクロ波も存在しうる。そのため、矩形処理室25b内を伝搬するマイクロ波による多重反射がプラズマに与える影響を低減するために、矩形処理室25bのY方向の長さを上記のように設定するのが好ましい。このようにすることで、プラズマの均一性をさらに高め、より均一な薄膜を形成することができ、また均一なプラズマを得るためのプロセスマージンを広げることができる。

#### 【0047】

矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38のY方向の長さがそれぞれの誘電体内を伝搬するマイクロ波の定在波条件を満たすことに加え、さらに図12に示すように矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38の内部でのマイクロ波の位相の位置が互いに一致していると好ましい。このようにすることで、矩形アンテナ誘電体34及び矩形封止誘電体38内のそれぞれの位相関係を揃えることができ、プラズマを均一に励起することができる。同じ理由から、矩形アンテナ誘電体34、矩形封止誘電体38及び矩形処理室25bの内部を伝搬する全てのマイクロ波の位相の位置の少なくとも一部が互いに一致しているとさらに好ましい。

### ＜第3実施例＞

以下に、第1実施形態例に係るプラズマ酸塗化装置について、第3実施例を挙げてさらに詳細に説明する。第3実施例に係るプラズマ酸塗化装置は、以下に記載のH面スロットアンテナ30及び矩形アンテナ誘電体34以外については、第1実施例と同様の構成を有している。

#### 【0048】

図13（a）は図6のプラズマ酸塗化装置のH面スロットアンテナ30の底面30cにおけるスロット30dの位置とH面スロットアンテナ30内のマイクロ波の波長との関係を示す説明図、図13（b）は図6のプラズマ酸塗化装置のY方向に垂直な断面におけるH面スロットアンテナ30と矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波の波長との関係を示す説明図、図14（a）、（b）は、2つのH面スロットアンテナにおけるスロット30dの配置図である。なお図6または図8において、矩形アンテナ誘電体34、矩形封止誘電体38及び矩形処理室25bの試料12の処理面に沿う断面において、二組の対向する平行な二辺と同一なそれぞれの方向をX方向及びY方向とし、X、Y方向と垂直な方向をZ方向とする。このとき、H面スロットアンテナ30、矩形アンテナ誘電体34、矩形封止誘電体38及び矩形処理室25bの試料12の処理面に沿う断面は、例えば長方形形状または正方形形状である。

#### 【0049】

本実施例に係るプラズマ酸塗化装置では、スロット30dの配置位置と、H面

スロットアンテナ30と矩形アンテナ誘電体34とのマイクロ波の波長の関係を設定している。まず、スロット30dの配置位置について説明する。

[H面アンテナのスロットの配置位置]

第1に、長方形状のスロット30dが、図13(a)に示すように、底部30cのY方向に延びる軸A1、A2上に交互に設けられている。ここで、図13に示す前記の軸A1と軸A2との間隔L5を、実質的に、次式(19)を満たすように設定する。

【0050】

$$L_5 = n_{L5} (\lambda_{34}/2) \quad \dots (19)$$

ここで、 $\lambda_{34}$ は矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波の波長、 $n_{L5}$ は1以上の整数である。このように軸A1と軸A2との間隔L5を設定することで、図13(b)に示すように、各々の軸A1と軸A2のスロット30dの位置において、底部30cのX方向における矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波の位相関係を揃えることができる。よって、両軸上のスロット30dから矩形アンテナ誘電体34に導入されるマイクロ波が互いに打ち消し合う等の干渉が低減し、低損失かつ均一なマイクロ波分布を得ることができる。

【0051】

また、スロット30dのY方向の長さL3及び／または軸A1、A2上に交互に隣接して配置されたスロット30dのY方向における中心位置の距離L4を、実質的に、次式(20)、(21)を満たすように設定すると好ましい。

$$L_3 = n_{L3} (\lambda_{30}/2) \quad \dots (20)$$

$$L_4 = n_{L4} (\lambda_{30}/2) \quad \dots (21)$$

ここで、 $\lambda_{30}$ はH面スロットアンテナ30内のマイクロ波の波長、 $n_{L3}$ 、 $n_{L4}$ は1以上の整数である。このように設定すると、 $L_3$ がH面スロットアンテナ30内のマイクロ波の共鳴長となり、H面スロットアンテナから矩形アンテナ誘電体34に導入されるマイクロ波と矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波との結合度を高めることができる。また $L_4$ を上記のように設定することで、両軸上の交互のスロット30dから矩形アンテナ誘電体34に導入されるマイクロ波の位相及び結合度を揃えることができる。

## 【0052】

さらに、図13 (a) に示すように、スロット30dの中心位置とH面スロットアンテナ内をY方向に伝搬するマイクロ波の腹の位置とが一致していると、より結合度が高くなり好ましい。

また、H面スロットアンテナ30のY方向の中心軸に関して線対称になるように軸A1、A2を設定し、その軸上にスロット30dを配置すると好ましい。このようにスロット30dを配置することで、スロット30dから導入されるマイクロ波と矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波との結合度が同程度となり、マイクロ波を均一化し易くなる。

## 【0053】

また、H面スロットアンテナ30のX方向の幅W1が、実質的に、下記式(22)を満たすように設定すると好ましい。

## 【0054】

## 【数2】

$$W_1 \approx L_5 \cdots (22)$$

このように幅W1を設定することで、スロット30dから導入されるマイクロ波と矩形誘電体15内のマイクロ波との結合度を高めることができる。

第2に、矩形アンテナ誘電体34のY方向に沿う端面と軸A1、A2とのそれぞれの距離Dが、実質的に、下記式(23)を満たすように軸A1、A2を設定し、その軸上にスロット30dを配置する。

## 【0055】

$$D = n_D (1/4) \lambda_{34} \cdots (23)$$

ここで、 $\lambda_{34}$ は矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波の波長、 $n_D$ は1以上の整数である。このようにDを設定することで、スロット30dから導入されるマイクロ波と矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波との結合度を高めたり、逆に異常放電を抑制することができる。つまり、例えば矩形アンテナ誘電体34とH面スロットアンテナ30との結合部をチョークと逆の関係とすることができますので、両者のより高い結合度を得ることができる。結合度を高める場合には、例

えば  $n_D$  として奇数を選択し、異常放電を抑制する場合には  $n_D$  として偶数を選択する。

【マイクロ波の波長の関係】

次に、H面スロットアンテナ30内のマイクロ波の波長  $\lambda_{30}$  と、矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波の波長  $\lambda_{34}$  との関係について説明する。

【0056】

軸A1及び軸A2のそれぞれから矩形アンテナ誘電体34に導入されるマイクロ波が同位相の場合は下記式(24)を満たすように、逆位相の場合は下記式(25)を満たすように設定する。

$$\lambda_{30}/2 = 2m (1/2) \lambda_{34} \cdots (24)$$

$$\lambda_{30}/2 = (2m+1) (1/2) \lambda_{34} \cdots (25)$$

ここで、mは1以上の整数である。前記式(24)または(25)の関係を満たすように、H面スロットアンテナの形状もしくは構造を変更することもできる。このように設定することで、H面スロットアンテナ30及び矩形アンテナ誘電体34内のそれぞれのマイクロ波の位相位置が一致し、定在波条件を同時に満たすことができる。そのため、それぞれの伝搬領域内を伝搬するマイクロ波がお互いに干渉して定在波条件を乱すのを低減することができる。よって、マイクロ波の減衰を抑えて、均一なマイクロ波を発生させ易く、均一なプラズマにより均一な薄膜を生成することができる。

【0057】

上記では、単独のH面スロットアンテナ30のみを使用しているが、矩形導波管を分岐して複数のH面スロットアンテナ30と接続し、矩形アンテナ誘電体34にマイクロ波を導入しても良い。分岐の方法としては、例えば2つに分岐する場合には、2つのH面スロットアンテナ30内部のマイクロ波の位相状態が同相となるH分岐や、位相状態が逆相となるE分岐を使用することができる。

図14(a)、(b)は、矩形導波管2をH分岐またはE分岐に分岐後、2つのH面スロットアンテナ30を介して矩形アンテナ誘電体34にマイクロ波を導入する場合の、H面スロットアンテナ30の底部30cにおけるスロット30dの配置位置及びH面スロットアンテナ30内のY方向のマイクロ波の波形を示し

ている。図14におけるH面スロットアンテナ30における軸A1及び軸A2上に位置するスロット30dの配置方法は、図13と同様である。

### 【0058】

図14 (a) はスロット30dが同じ位置に配置された2つの同一のH面スロットアンテナ30の平面図、同図 (b) はスロット30dがY方向に関して線対称に配置された2つの同一のH面スロットアンテナ30の平面図である。ここで、図14 (a) に示すように、2つのH面スロットアンテナ30におけるスロット30dの配置位置が同じ場合を“同相の配置位置”とし、同図 (b) に示すように線対称で、互いの配置位置が対称の場合を“逆相の配置位置”とする。また、図14に示すように、隣接するH面スロットアンテナ30におけるスロット30dのX方向の間隔をL6とする。図14 (a)、(b) では、図中左側の波形は左側のH面スロットアンテナ30内のマイクロ波を、図中右側の波形は、それぞれH分岐、E分岐後の右側のH面スロットアンテナ30内のマイクロ波を示している。

### 【0059】

また、以下の表1に、H分岐またはE分岐と同相の配置位置または逆相の配置位置とを組み合わせた場合における間隔L6の関係を示す。ここで、間隔L6は、2つのH面スロットアンテナ30の各々のスロット30dの中心位置における、矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波の位相が揃うように設定されている。

### 【0060】

【表1】

#### L6の距離

H面スロット アンテナの位相関係	H分岐	E分岐
同相	$\frac{\lambda_{34}}{2} (2n_{L6})$	$\frac{\lambda_{34}}{2} (2n_{L6}+1)$
逆相	$\frac{\lambda_{34}}{2} (2n_{L6}+1)$	$\frac{\lambda_{34}}{2} (2n_{L6})$

以上のように間隔  $L_6$  を設定することで、スロット 30 d から矩形アンテナ誘電体 34 に導入されるマイクロ波の位相が揃うため、互いに打ち消し合う等の干渉が低減する。

また、H面スロットアンテナ 30 内でのマイクロ波の干渉等を低減するため、シングルモードでの動作が可能な形状とするのが好ましい。シングルモードで動作可能な H面スロットアンテナ 30 の例えば Y 方向の長さ  $L_Y$  は、下記式 (26) より求まる。

#### 【0061】

#### 【数3】

$$\lambda_{30} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda}\right)^2 - \left(\frac{1}{2L_Y}\right)^2}} \quad \dots (26)$$

ここで、 $\lambda_{30}$  は H面スロットアンテナ 30 内のマイクロ波の波長、 $\lambda$  は自由空間波長である。

なお、H面スロットアンテナの代わりに、E面スロットアンテナ、円形導波管、同軸導波管、スロット以外の結合素子等を使用することもできる。

#### ＜第4実施例＞

以下に、第1実施形態例に係るプラズマ酸化装置の矩形スロット板の設計仕様について、第4実施例を挙げて説明する。ただし、第4実施例に係るプラズマ酸化装置は、矩形スロット板の設計仕様以外については、第1実施例と同様の構成を有している。

#### 【0062】

図15は、複数のスロット 36 a を有する矩形スロット板 36 の斜視図である。矩形スロット板 36 の厚み  $t$  は剛性や放熱特性の観点から 1 mm 以上であると好ましい。矩形スロット板 36 の厚みが 1 mm 以上であると、プラズマを発生させる際に生じる放熱特性や剛性が向上し、かつスロット 36 a から導入されるマイクロ波が減少することで、火花や異常放電発生などの問題を低減することができる。厚み  $t$  が 3 mm 以上であると、さらに前記の問題を低減することができるので好ましい。

## 【0063】

また、長方形状であるスロット36aの長辺方向のスロット長L7は、好ましくは $L_7 \geq (3/8) \lambda_{34}$ 、さらに好ましくは $L_7 \geq (1/2) \lambda_{34}$ となるように設定する。このようにスロット長L7を設定することで、スロット板の厚みtが厚い場合でもスロット36aによるマイクロ波の減衰を防止し易く、矩形スロット板36を通過した矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波と矩形封止誘電体38内のマイクロ波との結合度を良好にすることができます。さらに好ましくは $L_7 = (1/2) \lambda_{34}$ となるように設定する。このようにすることでスロット長L7が波長 $\lambda_{34}$ のほぼ共振長となり、厚みtが1mm以上の矩形スロット板36であっても、またスロット36aの短辺方向の長さW2が狭い場合であっても矩形封止誘電体38へのマイクロ波の十分な透過率を得ることができ、矩形スロット板36によるマイクロ波の減衰を防止することができます。また、マイクロ波の分布を乱さずに、矩形アンテナ誘電体34から矩形スロット板36を介して矩形封止誘電体38に導入されるマイクロ波と矩形封止誘電体38内のマイクロ波との高い結合度を得ることができます。よって、スロット板の変形や異常放電、マイクロ波の減衰等による不均一なマイクロ波の発生を低減しつつ、さらに高い結合度を得ることができます。そのため、効率よく均一なプラズマを発生させて大口径ウェハにおいて薄膜を均一に生成することができる。

## 【0064】

また、図15に示すスロット36aの長辺方向における隣接するスロットの中心間隔L8を、実質的に、 $L_8 = \lambda_{34}$ とすると、各スロット36aから矩形封止誘電体38に導入されるマイクロ波の位相が揃うので好ましい。さらに、スロット36a内部の比誘電率と矩形アンテナ誘電体34内の比誘電率とが同程度であれば、スロット36aを通過する際のマイクロ波の反射を低減することができるのです好ましい。

次に矩形スロット板36の厚みt及びスロット36aのスロット長L7と透過率及び熱変形によるひずみとの関係を示す。図16は矩形スロット板36の厚みtと熱変形によるひずみとの関係を示す説明図、図17はスロット長 $L_7 = (1/4) \lambda_{34}$ 、 $(3/8) \lambda_{34}$ 、 $(1/2) \lambda_{34}$ のスロットを有する矩形スロット

板3 6 各々の厚み  $t$  と透過率との関係を示す説明図である。図1 6 及び図1 7 は、矩形アンテナ誘電体3 4 内の波長  $\lambda_{34}$  が自由空間波長となる程度の寸法を有し、かつ石英で充填されている矩形アンテナ誘電体3 4 を用いた場合の実験結果である。

### 【0065】

図1 6 より矩形スロット板3 6 の厚み  $t$  が1 mm以上である場合、矩形スロット板3 6 の熱変形ひずみは約40  $\mu\text{m}$ 以上である。よって、厚み  $t$  が1 mm以上であると剛性を向上でき、かつ良好な放熱特性を得ることができるために、熱変形ひずみが矩形スロット板3 6 の厚み  $t$  の1/10以下と十分に小さくなり、熱変形によるマイクロ波への影響を低減できる。さらに、厚み  $t$  が $1 \leq t \leq 3$  (mm) の範囲では、図1 6 より熱変形ひずみが約20  $\mu\text{m}$ となり、変形によるアンテナ特性の変動をさらに小さくできる。また、プラズマを発生させる際に生じる熱の放熱特性がさらに向上し、かつ火花や異常放電などの問題をさらに低減することができる。

### 【0066】

図1 7 より厚み  $t$  が1 mmの各スロット長  $L_7$  における透過率は、全て約80%以上あり、剛性及び透過率ともに問題ない。特に、 $L_7 \geq (3/8) \lambda_{34}$  とすると、透過率が約90%以上となりマイクロ波の透過率を向上できるので好ましい。また、厚み  $t$  が $1 \leq t \leq 3$  (mm) の範囲では、 $L_7 \geq (3/8) \lambda_{34}$  とすると透過率は約70%以上となり、 $L_7 \leq (1/4) \lambda_{34}$  の場合と比較してマイクロ波の透過率を十分に高めることができる。厚み  $t$  が3 mm以上においても同様に熱変形ひずみは約20  $\mu\text{m}$ 以下と小さく、さらに $L_7 \geq (3/8) \lambda_{34}$  であると透過率の低下も抑制できる。例えば、厚み  $t$  が5 mmの時、熱変形ひずみは約5  $\mu\text{m}$ で、透過率は約55%以上である。

### 【0067】

矩形スロット板3 6 の厚み  $t$  と熱変形ひずみとの関係は、厚み  $t$  と透過率との関係と相反関係にあるため、プラズマ酸化装置の特性に適応させて決定する必要がある。

[その他の実施形態例]

(A) 本発明は、シリコンプロセス以外の化合物、F P D (Flat Panel Display) プロセス等に適用可能である。また、プラズマを用いないマイクロ波照射装置、マイクロ波加熱装置等にも適用可能である。

(B) 前記実施例は、必要に応じて組み合わせて用いることができる。

### 【0068】

#### 【発明の効果】

本発明を用いれば、試料の処理面に対して均一な処理を施すことができるプラズマ処理装置を提供することができる。

また、本発明を用いれば、プロセスマージンを拡大することができるプラズマ処理装置を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図 1】

第1実施形態例に係るプラズマ酸化装置の外観図。

##### 【図 2】

A-A'を含む試料の処理面に垂直な方向における図1の装置の断面図。

##### 【図 3】

図1に示すプラズマ酸化装置の要部の分解斜視図。

##### 【図 4】

垂直な壁面におけるマイクロ波の進行方向を示す図。

##### 【図 5】

矩形状の伝搬領域におけるマイクロ波の電界強度分布図。

##### 【図 6】

第1実施例のプラズマ酸化装置の外観図。

##### 【図 7】

図6のB-B'を含む図中X軸に垂直な図6の装置の断面図。

##### 【図 8】

図6に示すプラズマ酸化装置の要部の分解斜視図。

##### 【図 9】

H面スロットアンテナのスロット形状。

## 【図10】

- (a) 矩形スロット板のスロットの形状（1）。
- (b) 矩形スロット板のスロットの形状（2）。

## 【図11】

- (a) 図10 (a) のスロットとアンテナ誘電体内を伝搬するX及びY方向のマイクロ波の波長との関係を示す説明図。
- (b) 図10 (b) のスロットとアンテナ誘電体内を伝搬するX及びY方向のマイクロ波の波長との関係を示す説明図。

## 【図12】

図7のプラズマ酸化装置の要部とマイクロ波伝搬領域におけるマイクロ波の波長との関係を示す説明図。

## 【図13】

- (a) 図6のプラズマ酸化装置のスロット30dの位置とH面スロットアンテナ30内のマイクロ波の波長との関係を示す説明図。
- (b) 図6のプラズマ酸化装置のY方向に垂直な断面におけるH面スロットアンテナ30及び矩形アンテナ誘電体34内のマイクロ波の波長との関係を示す説明図。

## 【図14】

- (a) 2つのH面スロットアンテナにおけるスロット30dの配置図（1）。
- (b) 2つのH面スロットアンテナにおけるスロット30dの配置図（2）。

## 【図15】

複数のスロット36aを有する矩形スロット板36の斜視図。

## 【図16】

矩形スロット板36の厚みtと熱変形によるひずみとの関係を示す説明図。

## 【図17】

3種類の各スロット長のスロットを有する矩形スロット板36各々の厚みtと透過率との関係を示す説明図。

## 【図18】

円筒形状の壁面におけるマイクロ波の進行方向を示す図。

## 【図19】

円筒形状の伝搬領域におけるマイクロ波の電界強度分布図。

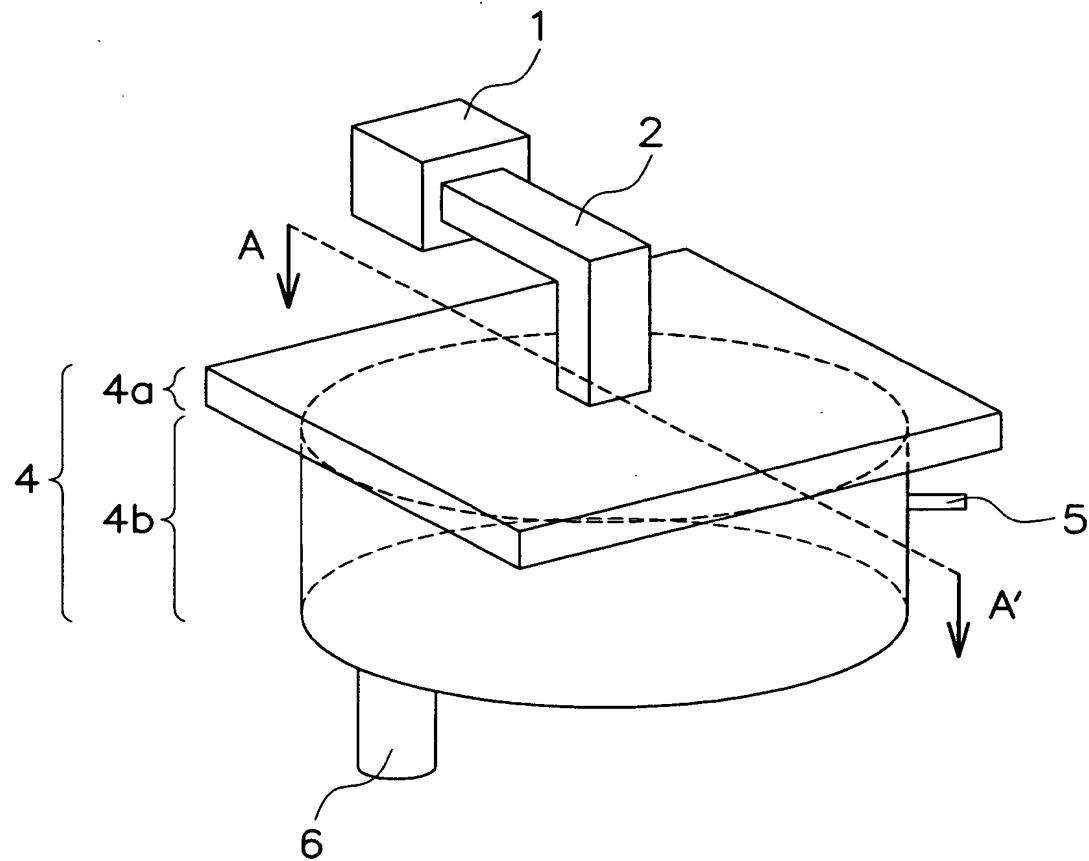
## 【符号の説明】

- 1 マイクロ波発生器
- 2、20 矩形導波管
- 4 チャンバ
- 4 a 矩形チャンバ蓋
- 4 b 円形処理室
- 12 試料
- 15、34 矩形アンテナ誘電体
- 17 スロット板
- 19 封止誘電体
- 25 矩形チャンバ
- 25 a 矩形チャンバ蓋
- 25 b 矩形処理室
- 30 H面スロットアンテナ
- 36 矩形スロット板
- 38 矩形封止誘電体

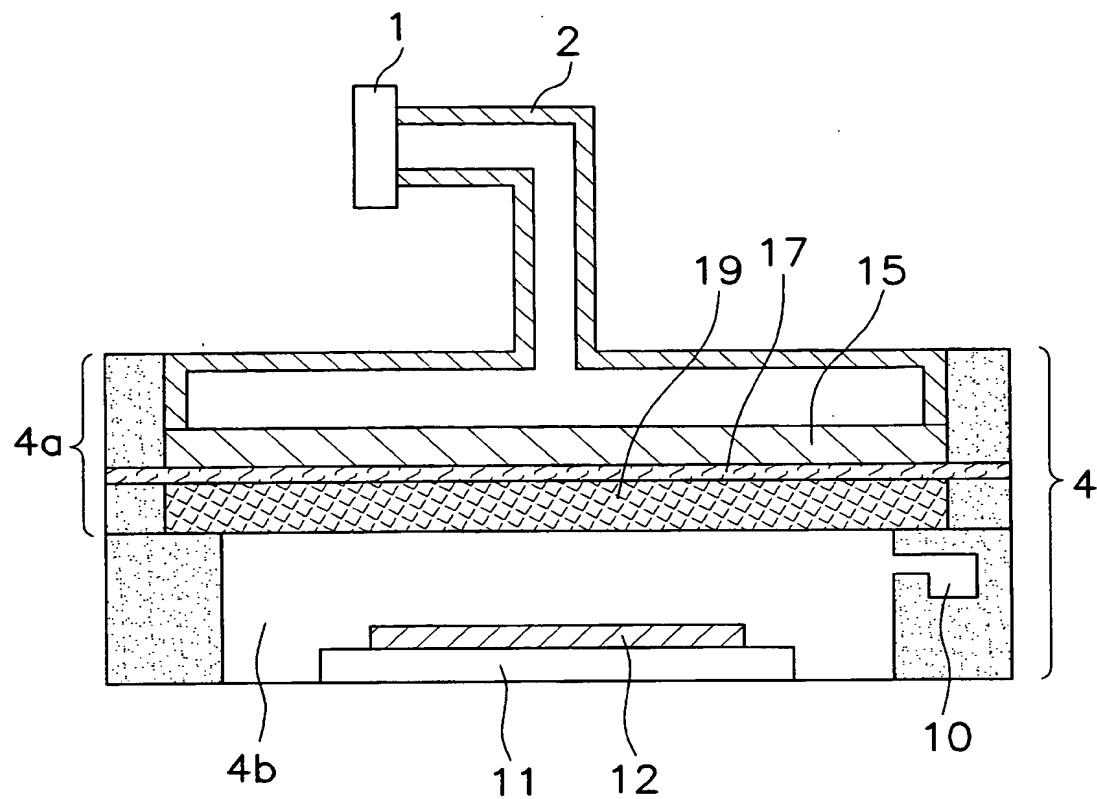
【書類名】

図面

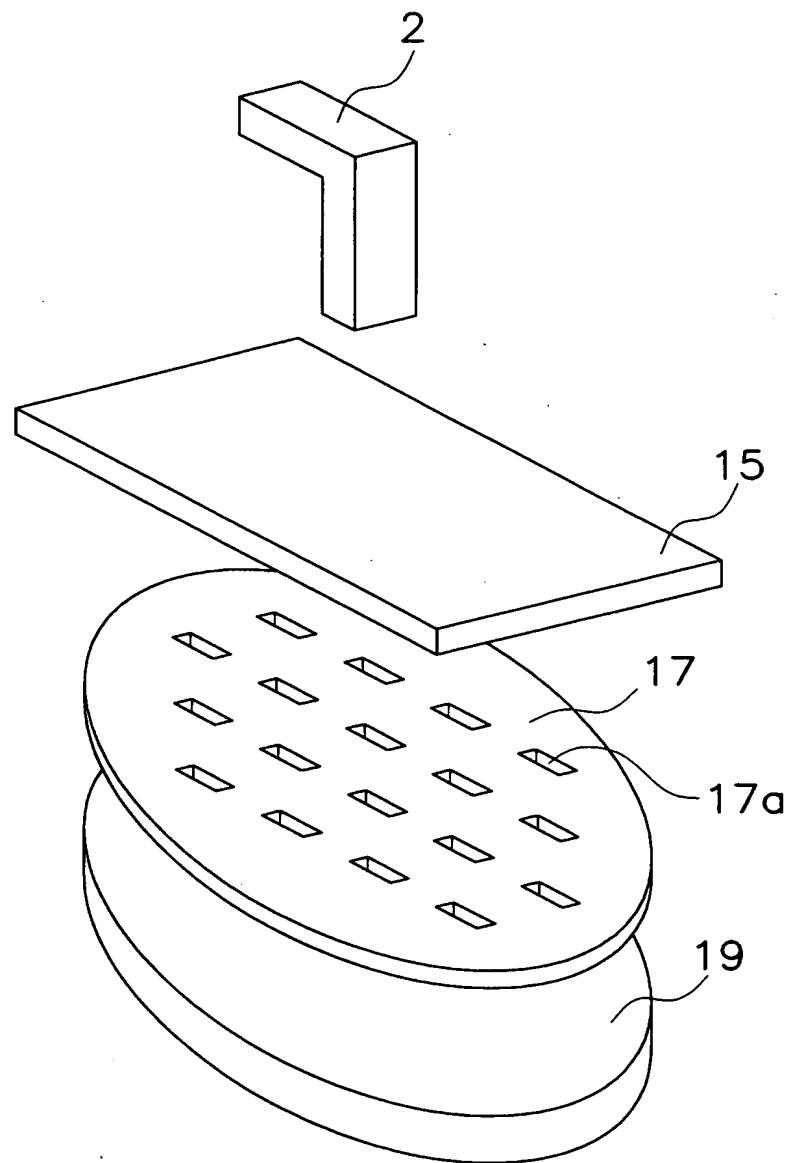
【図1】



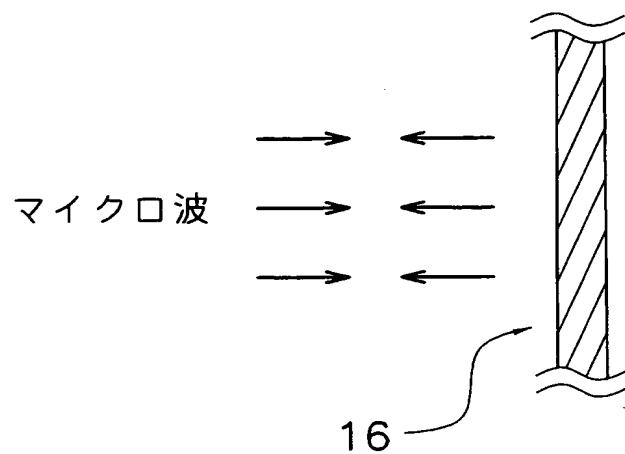
【図2】



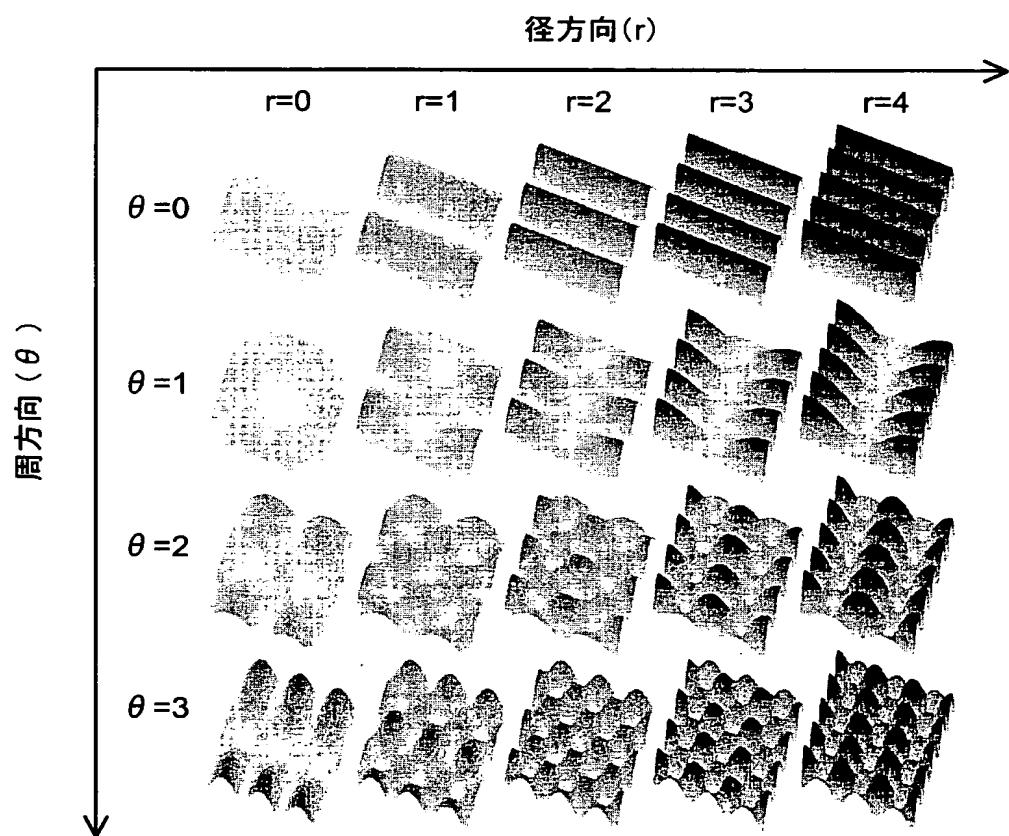
【図3】



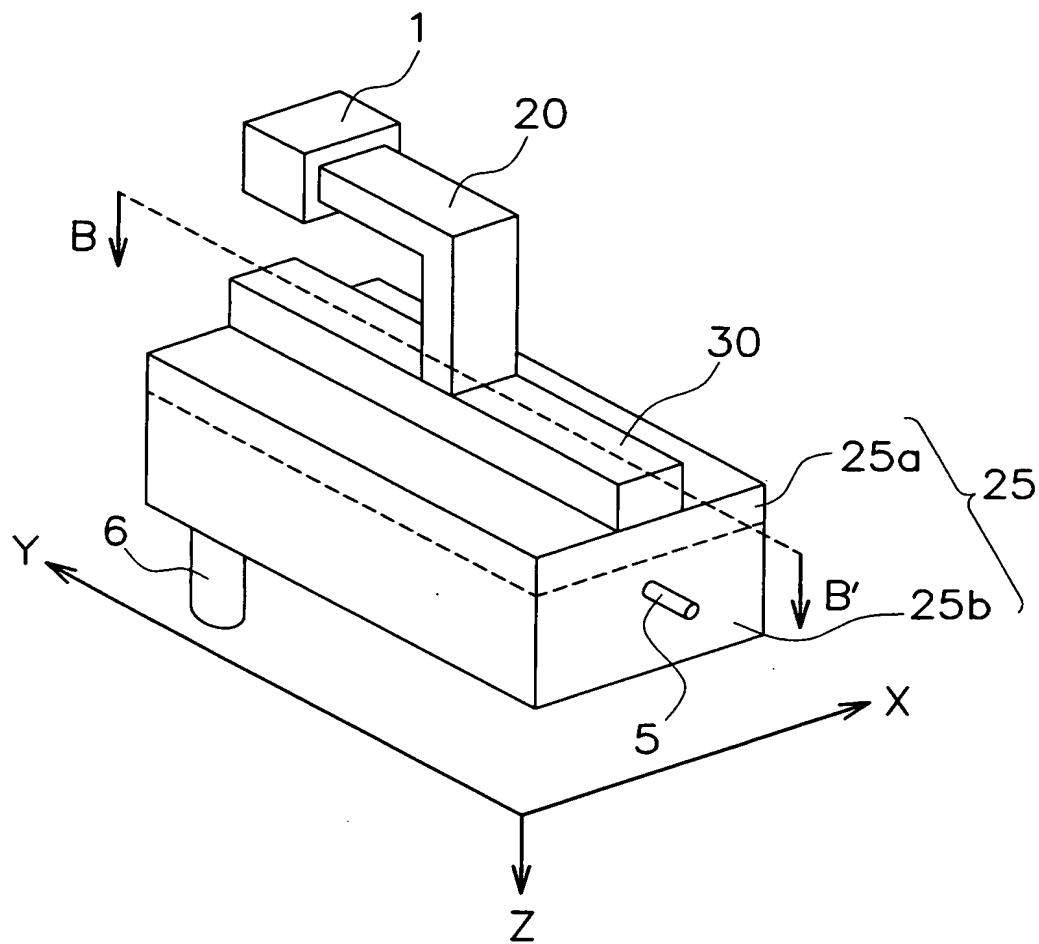
【図4】



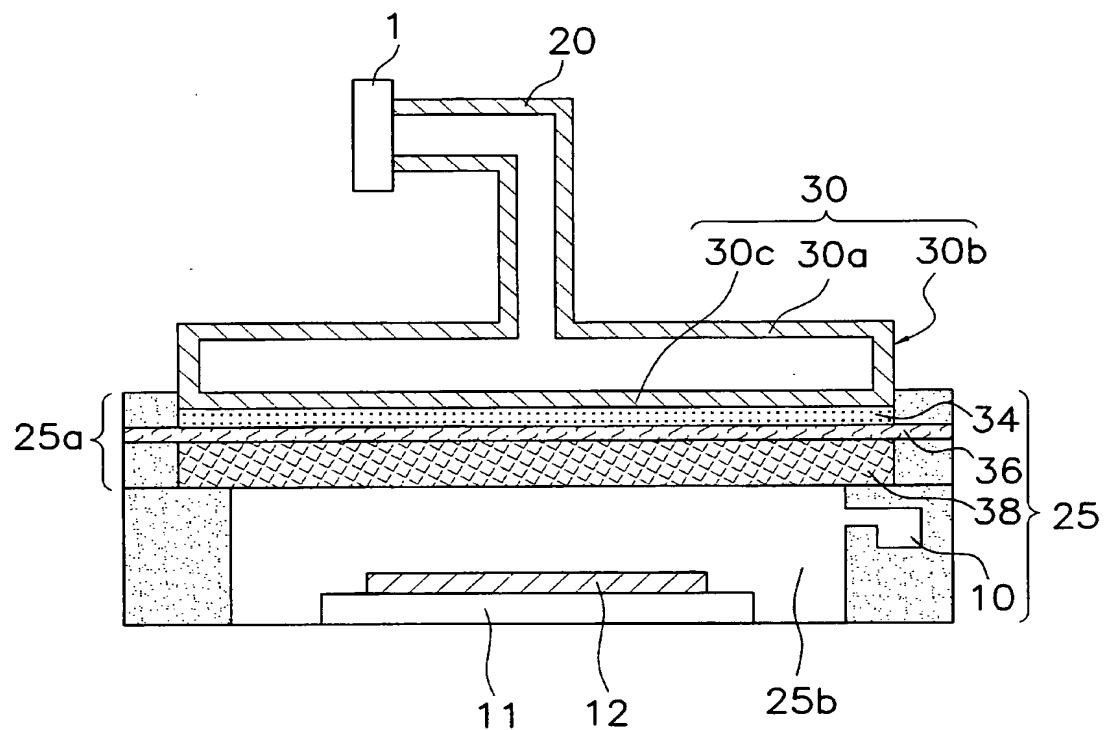
【図5】



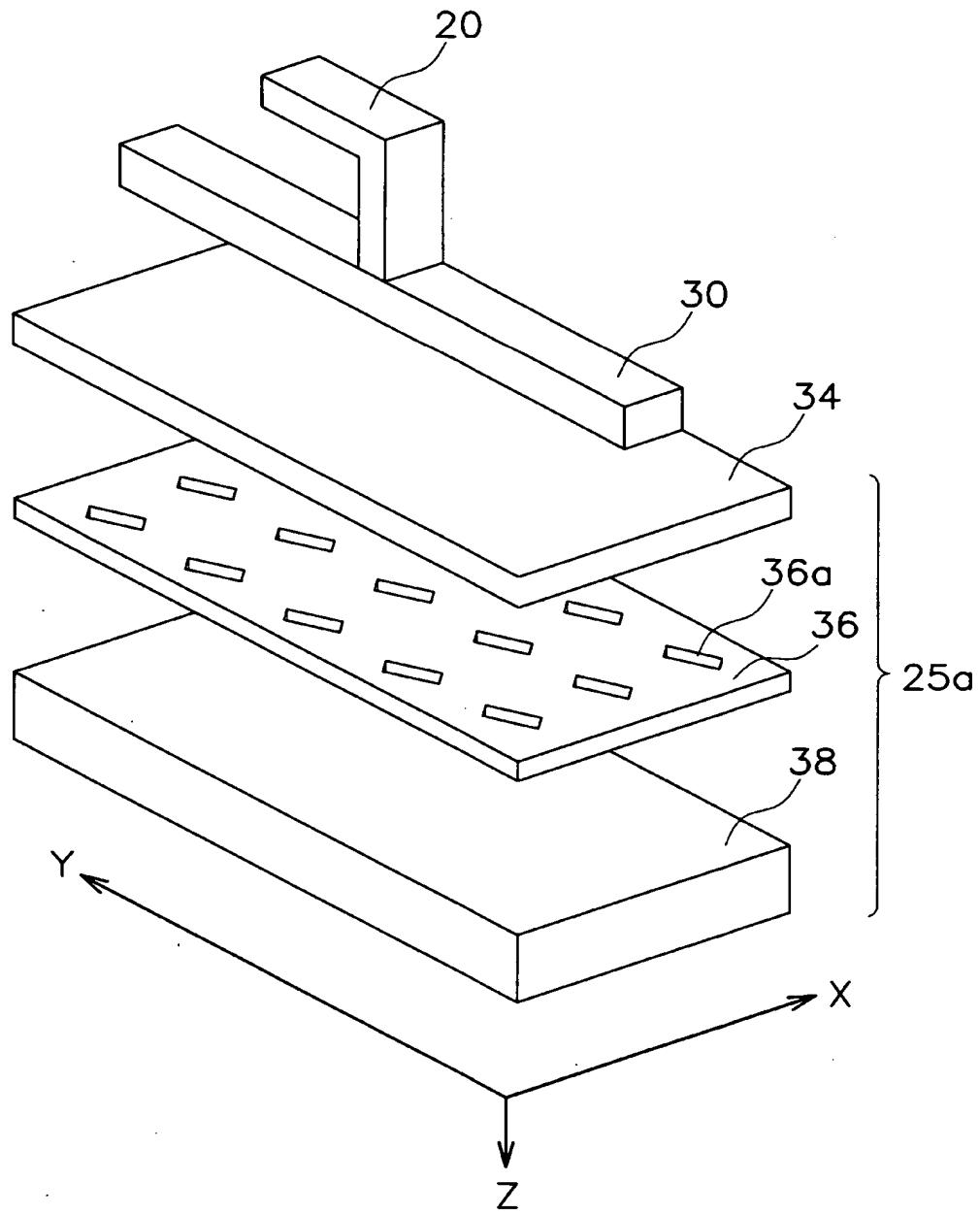
【図6】



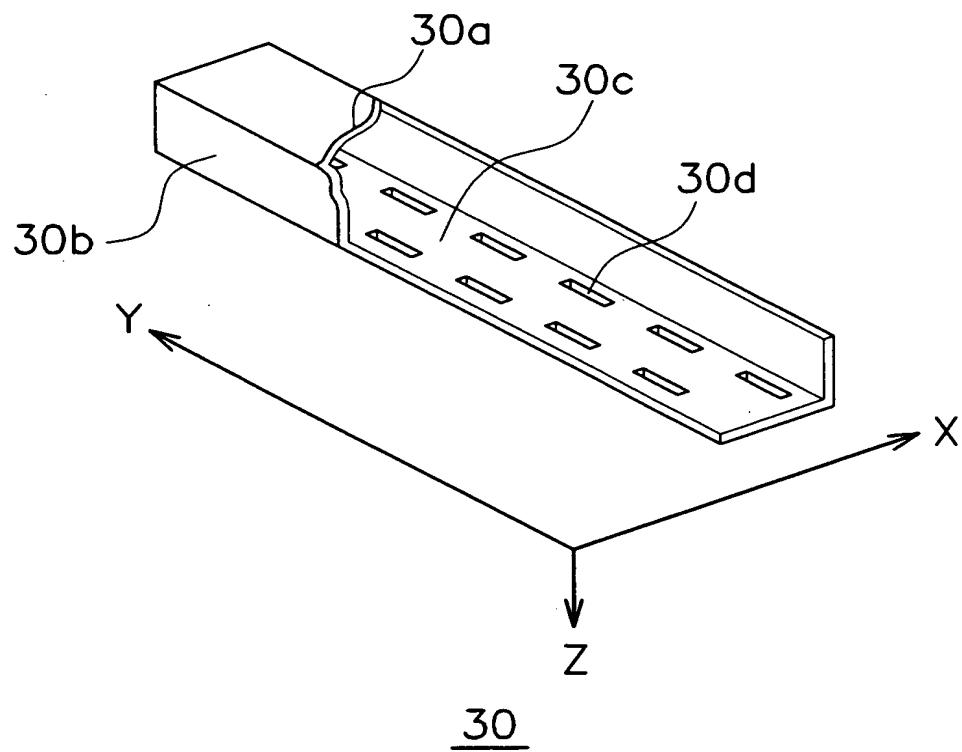
【図7】



【図8】

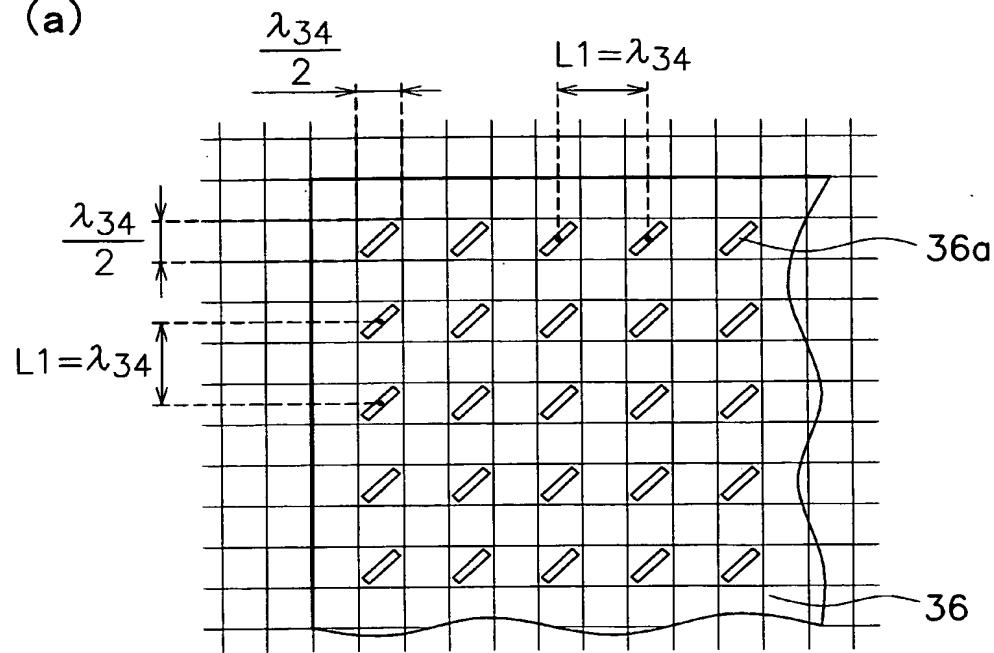


【図9】

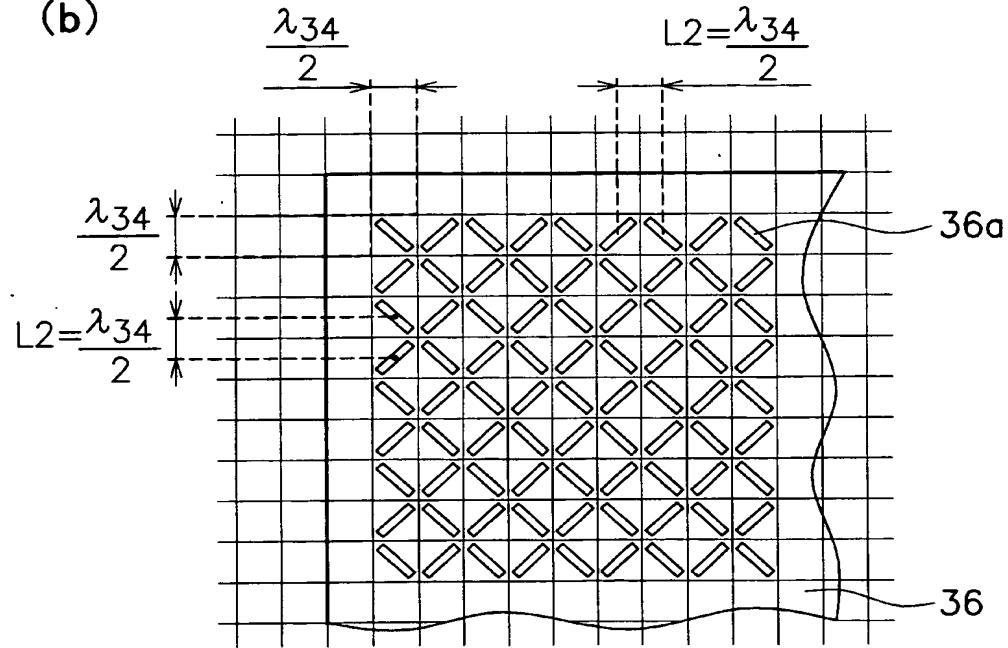


【図10】

(a)

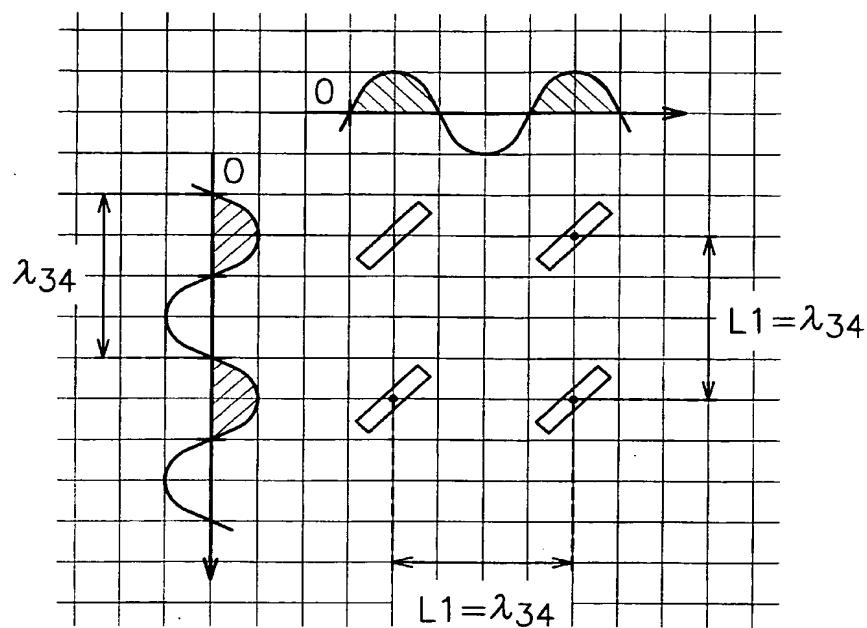


(b)

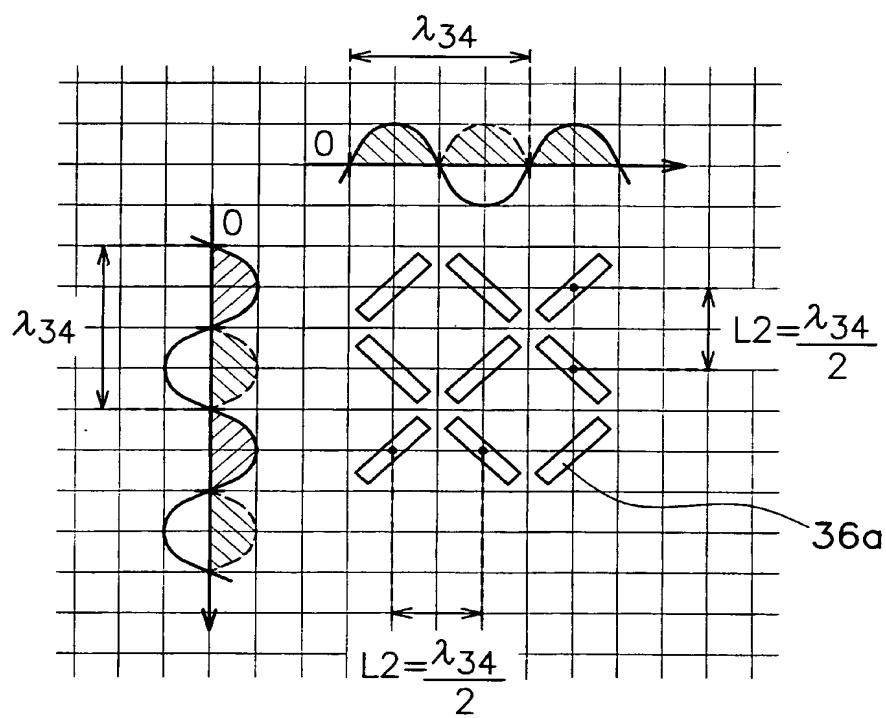


【図 11】

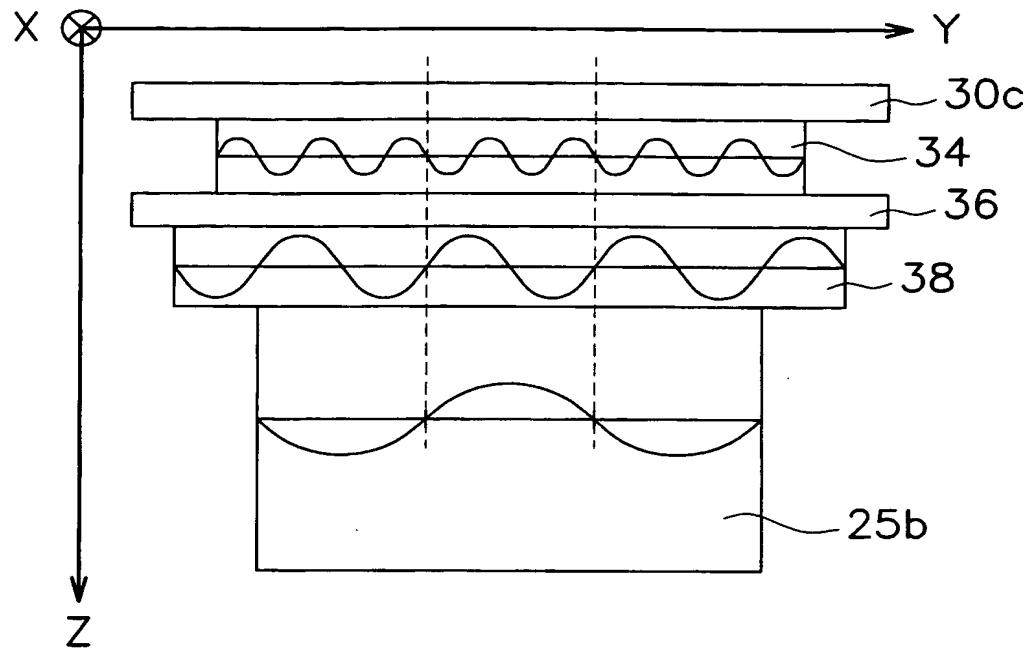
(a)



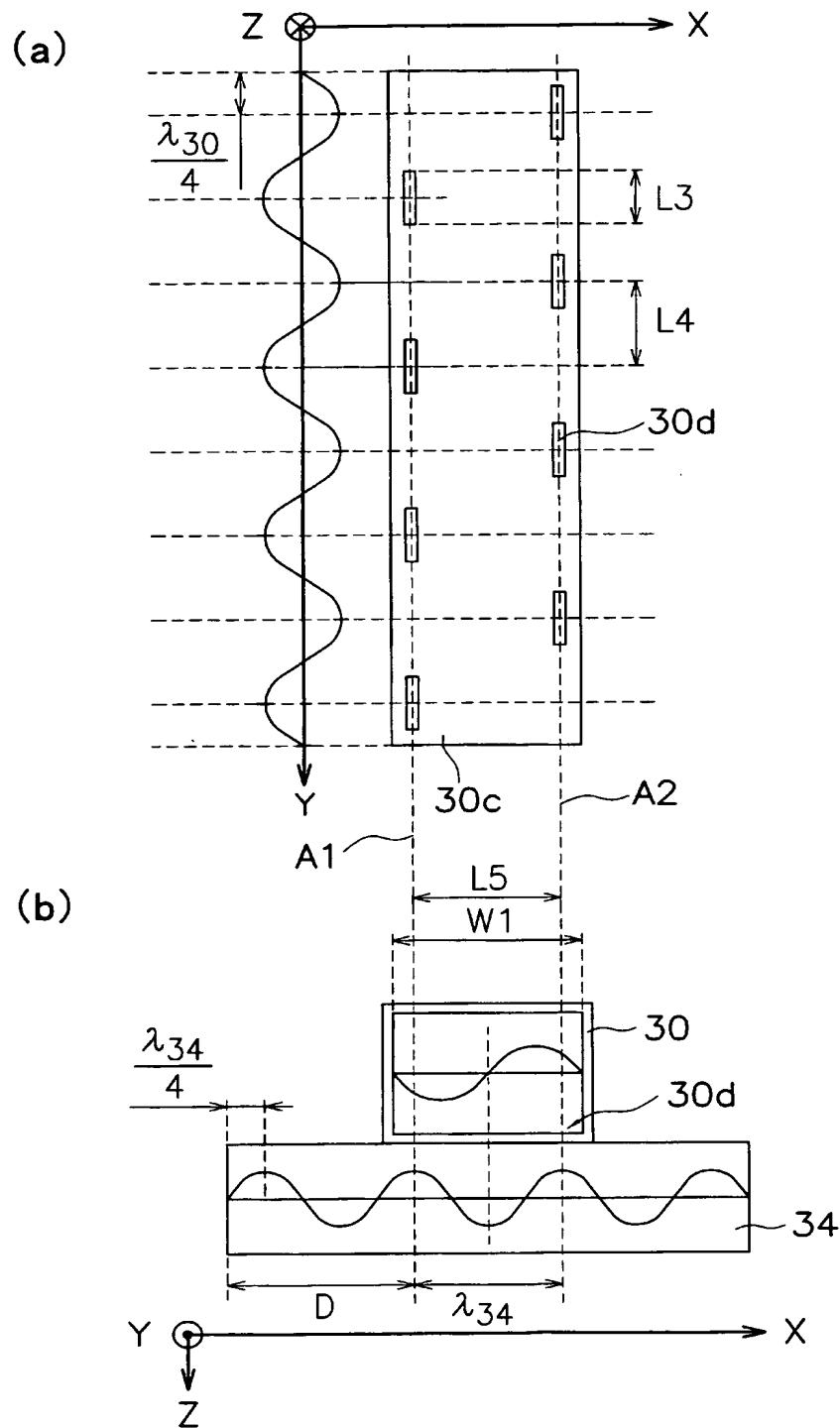
(b)



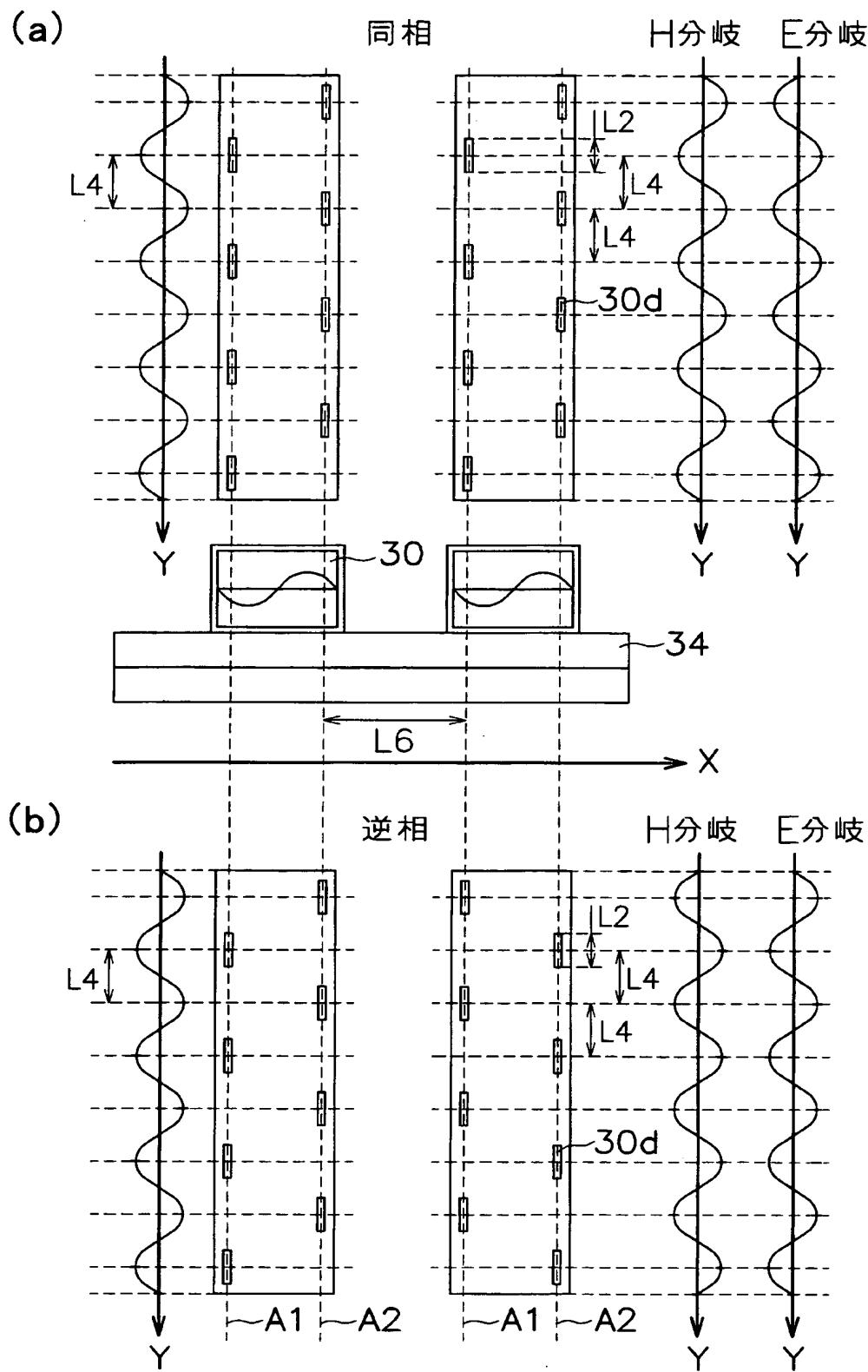
【図12】



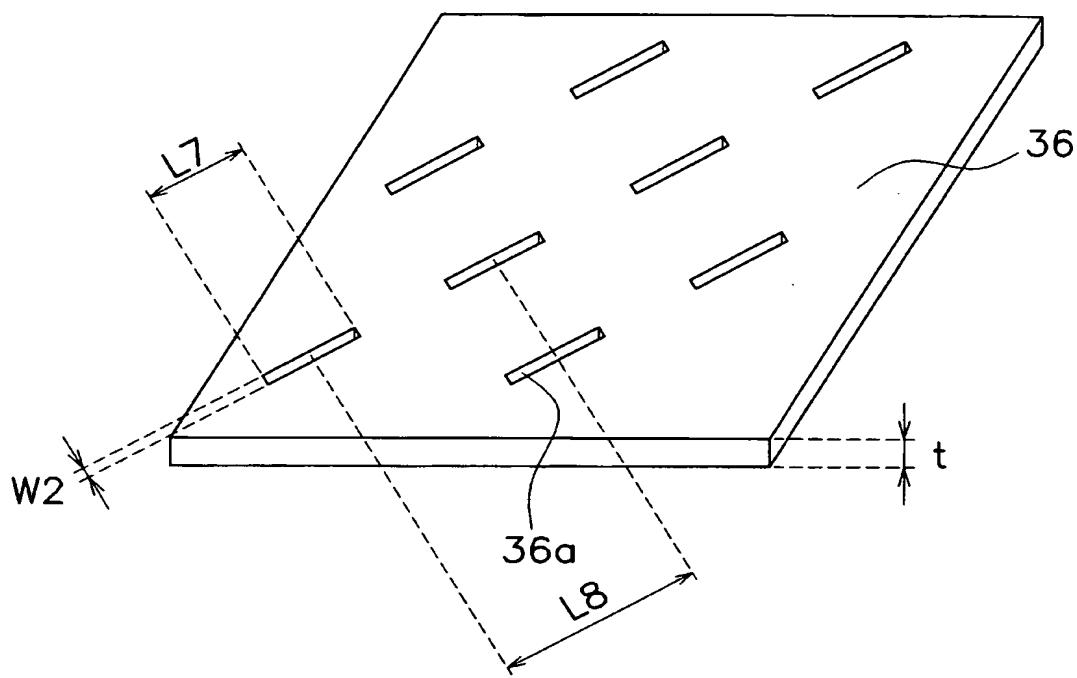
【図13】



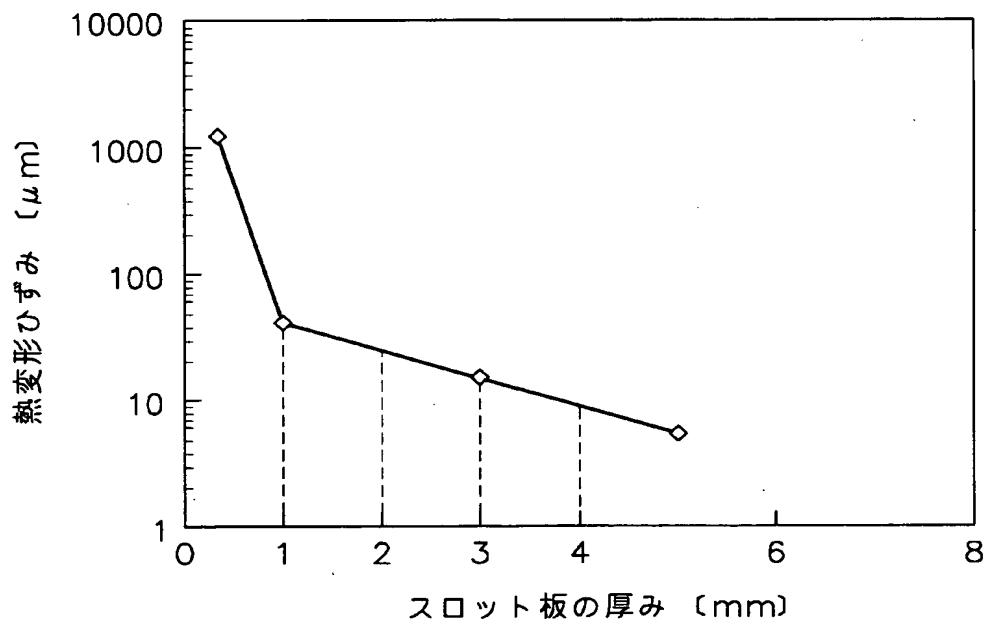
【図14】



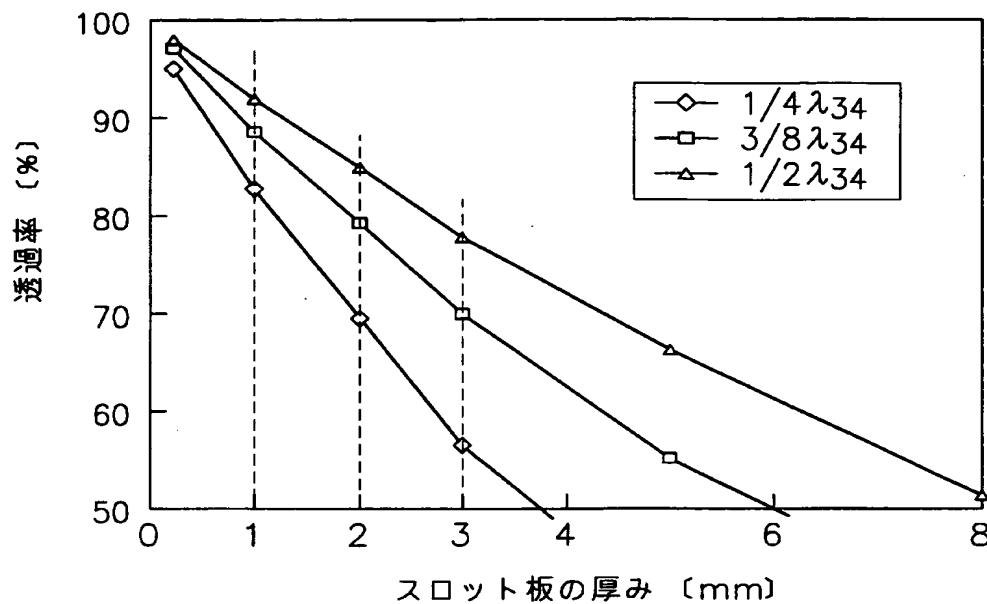
【図15】



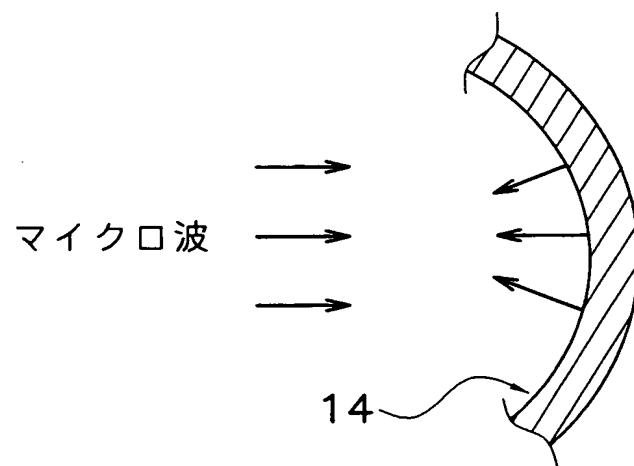
【図16】



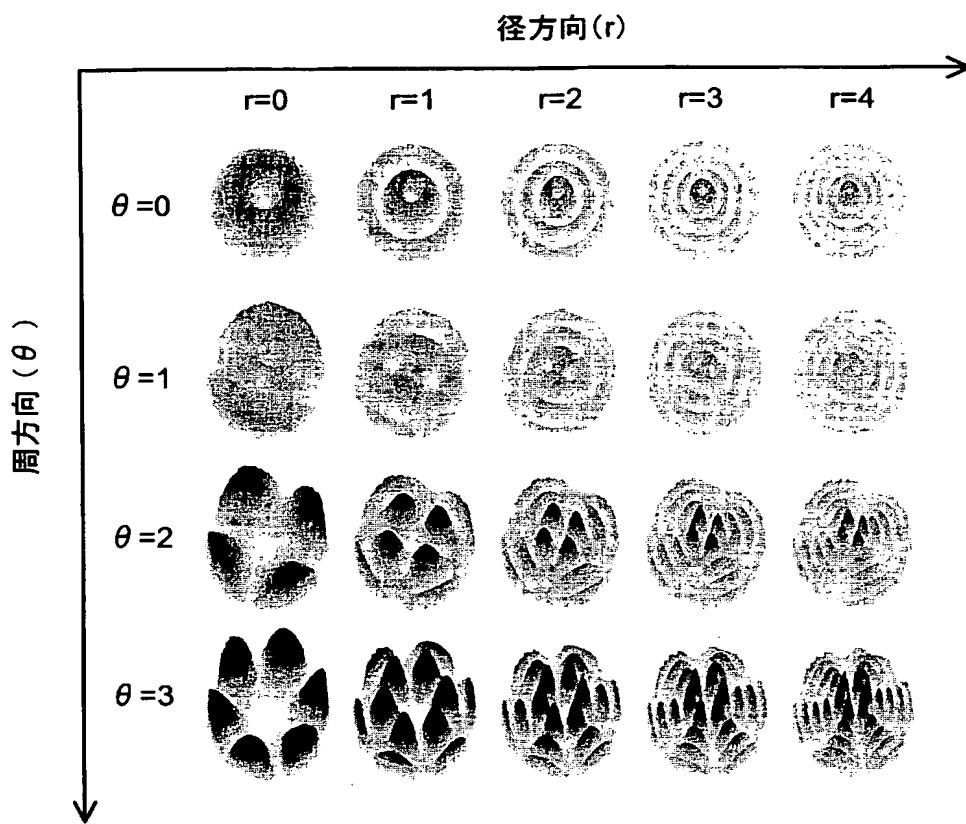
【図17】



【図18】



【図19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、試料の処理面に対して均一な処理を施すことができるプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 マイクロ波発生手段に接続され、試料の処理面に沿う断面が矩形状であり、前記マイクロ波発生手段から発生したマイクロ波の電界強度分布を前記試料の処理面に沿って概ね均一にする第1誘電体15と、前記第1誘電体の下部に設けられ、複数の第1スロット17aが形成されており、前記第1誘電体15内のマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持またはさらに高めるスロット板17と、前記スロット板17の下部に設けられ、前記スロット板17から供給されるマイクロ波の電界強度分布の均一性を保持またはさらに高める第2誘電体と、前記マイクロ波により前記反応器内に発生するプラズマを用いて前記試料を処理する処理手段とを有するプラズマ処理装置を提供する。

【選択図】 図3

特願 2003-022073

出願人履歴情報

識別番号 [000116024]

1. 変更年月日 1990年 8月22日

[変更理由] 新規登録

住所 京都府京都市右京区西院溝崎町21番地  
氏名 ローム株式会社